

**APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA CROMÁTICA AL PROBLEMA DE
SECUENCIACIÓN DE PROYECTOS CON RECURSOS LIMITADOS (RCPSP)**

FAUSTO JAVIER HERNÁNDEZ FUENTES

JUAN SEBASTIÁN POVEDA GULFO

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MONTERÍA – CÓRDOBA
2014**

**APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA CROMÁTICA AL PROBLEMA DE
SECUENCIACIÓN DE PROYECTOS CON RECURSOS LIMITADOS (RCPS)**

FAUSTO JAVIER HERNÁNDEZ FUENTES

JUAN SEBASTIÁN POVEDA GULFO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Tutor

Ing. M.Sc. JORGE MARIO LÓPEZ PEREIRA

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MONTERÍA – CÓRDOBA**

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. M.Sc. JORGE MARIO LÓPEZ PEREIRA

JURADO

JURADO

Montería, Octubre 2014

AGRADECIMIENTOS

Doy muchas gracias a Dios por todos los logros alcanzados. Por permitirme realizar y culminar una etapa más en mis estudios. Por poner en mi camino personas que de alguna manera u otra dejaron en mi vida grandes lecciones.

Agradezco a mis padres, Araceli Fuentes y Faustino Hernández, por su incondicional apoyo y confianza en mí. Por inculcarme el amor al estudio y a la vida. Gracias a mi hermano Álvaro Hernández por su compañía, buenas ideas y puntos de vista.

Expreso un sincero agradecimiento a todas aquellas personas que motivaron y colaboraron en la realización del presente trabajo, en especial al Ingeniero Jorge Mario López, tutor de esta investigación, por la orientación, la atención y la supervisión continua del mismo, pero sobre todo por el interés y el apoyo prestado durante el desarrollo de la tesis.

Especial reconocimiento merecen las indicaciones y sugerencias recibidas por parte de la Ingeniera Lina María Tapia, que permitieron trazar un horizonte claro para nuestra investigación. También me gustaría agradecer la ayuda y opiniones recibidas del licenciado en matemáticas Luis Fernando Machado y el ingeniero Luis Alfonso Garzón.

Quisiera extender mi gratitud a mis compañeros y profesores del Departamento de Ingeniería Industrial, que con sus conocimientos y apoyo brindaron claridad y proporcionaron herramientas para la culminación de este trabajo. En especial al licenciado en química Luis Javier Pomares por su amistad y buenos consejos.

A todos ellos, muchas gracias.

Fausto Javier Hernández Fuentes

A Dios doy el primer agradecimiento pues sin él nada fuera posible, él en su infinita sabiduría y bondad nos guío a través del camino que nos permitió completar la realización del presente trabajo de grado.

También le agradezco a mi familia, que sin duda alguna es el motor que me impulsa a dar todo de mí día a día, a ellos gracias por apoyarme en los momentos de tristeza, adversidad y frustración; momentos en los que quería dejar todo y no saber más nada de la Universidad. A ellos gracias por levantarme el ánimo y alentarme a seguir adelante por difíciles y sin sentido que parecerían las cosas.

Agradezco a los profesores que participaron en la realización de este trabajo, de manera muy especial al MsC Jorge Mario López Pereira, nuestro asesor, quien pacientemente nos guío en sentido académico e incluso personal para la culminación de este trabajo de grado. Además le agradezco a la MsC(c) Lina María Tapia Barrera por guiarnos en la elaboración del anteproyecto de este trabajo de grado, sin su ayuda hubiera sido difícil encaminar hacia una meta clara. También agradezco al MsC(c) Luis Machado que en el inicio de este trabajo nos explicó algunos conceptos básicos relacionados con el RCPSP. De manera especial también agradezco al MsC Luis Alfonso Garzón por sus aportes y opiniones acerca de este trabajo, así mismo por las valiosas lecciones de vida que ayudaron mucho en mi crecimiento personal.

Por último agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo, ya sea por sus aportes de información para enriquecer nuestro trabajo, sus opiniones, sus correcciones y sus críticas.

A todos ellos muchas gracias,

Juan Sebastián Poveda Gulfo

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	12
1.1. Descripción del Problema.....	12
1.2. Formulación del Problema.....	14
1.3. Sistematización del problema	14
1.3.1. Determinación del estado del arte.....	14
1.3.2. Formulación y programación del modelo	14
1.3.3. Lenguaje de programación del modelo.....	15
1.3.4. Análisis estadístico	15
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos	15
1.5. Justificación	16
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL	18
2.1. Marco teórico.....	18
2.1.1. Secuenciación (Scheduling).....	18
2.1.2. Secuenciación de Proyectos con Recursos Limitados	18
2.1.3. Modelo del problema.....	19
2.1.4. Algoritmia.....	21
2.1.5. Complejidad computacional	22
2.1.6. Métodos Metaheurísticos	23
2.1.6.1. Algoritmo genético	24
2.1.6.2. Búsqueda tabú	24
2.1.6.3. Colonia de hormigas.....	25
2.1.6.4. Recocido simulado	25
2.2. Estado del arte.....	26
2.3.1. Métodos de solución de los problemas tipo RCPSP.....	26
2.3.1.1. Métodos aproximados	27
2.3.1.1.1. Métodos basados en reglas de prioridad	27

2.3.1.1.2. Métodos multipasada basados en reglas de prioridad	28
2.3.1.1.3. Métodos aleatorizados	29
2.3.1.1.4. Métodos metaheurísticos	29
2.3.1.1.5. Método de Mejora Forward-Backward para el RCPSP	30
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	32
3.1. Tipo y diseño de investigación	32
3.2. Problema de Secuenciación de Proyectos con Recursos Limitados (RCPSP)	33
3.2.1. Restricciones del problema	33
3.2.2. Definiciones del problema	33
3.3. Instancias de Prueba	36
3.4. Representación de las soluciones (encoding)	37
3.5. Descripción de la metaheurística cromática	38
3.5.1. Búsqueda en la Escala Cromática	39
3.5.2. Escala Cromática	39
3.5.3. Vecinos de Escala Cromática	40
3.5.4. Vecinos de Inspiración	44
3.5.5. Vecinos de Rotación de Notas	44
3.5.6. Vecinos de Rotación Descendentes	44
3.5.7. Vecinos de Rotación Ascendentes	46
3.6. Parámetros Metaheurística Cromática	47
3.6.1. Arreglo Melódico	47
3.6.2. Melodía Conveniente	48
3.6.3. Utilización de la Mejor Melodía	48
3.6.4. Variación de la Melodía Conveniente	49
3.6.5. Operador de mejora	49
3.7. Selección de variables independientes	49
3.8. Selección de Parámetros	50
3.9. Toma de datos	51
3.10. Desarrollo de las instancias seleccionadas	51
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	53
4.1. Análisis de resultados	53

4.1.2. Análisis y comparación global de algoritmos.....	53
4.2. Conclusiones y trabajos futuros.....	73
CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA	76
CAPÍTULO 6: ANEXOS	80
ANEXO 1. Determinación del tamaño de la muestra	80
ANEXO 2. Estadísticos por instancias	83
ANEXO 3. Instancias excluidas del análisis inferencial	122
ANEXO 4. GAP's por Instancias.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de las instancias	37
Tabla 2. Ejemplo de secuenciación en serie	38
Tabla 3. Ejemplo de secuenciación en paralelo.....	38
Tabla 4. Valores numéricos de las notas musicales.....	41
Tabla 5. Variación de parámetros.....	50
Tabla 6. Selección de parámetros	50
Tabla 7. Tabla ejemplo de estadísticos instancias de 30 actividades	54
Tabla 8. Prueba de la Mediana de Mood para instancias de 30 actividades.....	58
Tabla 9. Prueba de la Mediana de Mood para instancias de 60 actividades.....	59
Tabla 10. Prueba de la Mediana de Mood para instancias de 120 actividades.....	61
Tabla 11. Tabla ejemplo de análisis GAP instancias de 30 actividades	63
Tabla 12. GAP promedio por tipo de instancia	64
Tabla 13. GAP promedio por tipo de instancia calculado con cotas inferiores.....	68
Tabla 14. Resultados para instancias J30	69
Tabla 15. Resultados para instancias J60	70
Tabla 16. Resultados para instancias X120	71
Tabla 17. Curvas de operación característica para $V1=2$	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de Desarrollo de Algoritmos	22
Figura 2. Familias de los problemas P, NP, NP-Completo y NP-Duro.....	23
Figura 3. Esquema del funcionamiento del algoritmo crómico.....	30
Figura 4. Ejemplo problema de secuenciación con 2 recursos renovables	34
Figura 5. Secuencia posible con una duración del proyecto de 11 unidades	35
Figura 6. Secuencia posible con una duración del proyecto de 10 unidades	35
Figura 7. Representación de la solución (Regla de Prioridad)	38
Figura 8. Escala Cromática	40
Figura 9. Escala de grado mayor	40
Figura 10. Solución codificada de 8 posiciones	42
Figura 11. Vecinos en la escala cromática	43
Figura 12. Posiciones de las notas relativas a la octava para vecino por rotación descendente	45
Figura 13. Rotación descendente de las notas	45
Figura 14. Vecino por rotación descendente de notas	45
Figura 15. Posiciones de las notas relativas a la octava para vecino por rotación ascendente	46
Figura 16. Rotación ascendente de las notas	47
Figura 17. Vecino por rotación ascendente de notas	47
Figura 18. Obtención de una melodía híbrida	48
Figura 19. Mejores resultados y promedios para instancias de 30 actividades	55
Figura 20. Mejores resultados y promedios para instancias de 60 actividades	56
Figura 21. Mejores resultados y promedios para instancias de 120 actividades	57
Figura 22. Diagrama de caja y bigotes del factor algoritmo instancias de 30 actividades	58
Figura 23. Análisis de muescas en diagrama de caja y bigotes instancias de 30 actividades	59
Figura 24. Diagrama de caja y bigotes del factor algoritmo instancias de 60 actividades	60
Figura 25. Análisis de muescas en diagrama de caja y bigotes instancias de 60 actividades	60
Figura 26. Diagrama de caja y bigotes del factor algoritmo instancias de 120 actividades	61
Figura 27. Análisis de muescas en diagrama de caja y bigotes instancias de 120 actividades	62
Figura 28. Gráfico de soluciones obtenidas vs óptimos instancias de 30 actividades.....	65
Figura 29. Gráfico de soluciones obtenidas vs óptimos instancias de 60 actividades.....	66
Figura 30. Gráfico de soluciones obtenidas vs óptimos instancias de 120 actividades.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Determinación del tamaño de la muestra	80
ANEXO 2. Estadísticos por instancias	83
ANEXO 3. Instancias excluidas del análisis inferencial	122
ANEXO 4. GAP's por Instancias.....	124

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Descripción del Problema

Todo proyecto está constituido por una serie de procesos, de los cuales dependerá el éxito en el desarrollo y terminación del mismo. Entre ellos se encuentran los procesos de iniciación, planificación, ejecución, control y terminación, con sus respectivos tiempos de inicio y fin, que serán motivo de interés para líderes o representantes encargados de la gestión del proyecto. Por otra parte, el tiempo de realización de todo el proyecto es crítico, debido a que este se relaciona directamente con los costos de las actividades involucradas.

La construcción de un edificio residencial, el lanzamiento de un nuevo producto al mercado, la programación de los camiones de carga en una cantera, organizar un evento, diseñar un software de contabilidad, todos son considerados como proyectos. Como tal, el factor predominante en cada uno de estos ejemplos sigue siendo el tiempo empleado para conseguir los resultados esperados. Ahora bien, si desde un contexto empresarial se lograra tener mayor control sobre el recurso tiempo, los beneficios obtenidos pudieran ser, según Ballesteros (2012), un aumento en la productividad, en el porcentaje de utilización de los recursos, una reducción en los niveles de inventarios, mayor eficiencia en los despachos, entre otros aspectos, y sobre todo una mejor capacidad por parte de la empresa para reaccionar de forma inmediata a las necesidades cambiantes del mercado.

Justamente un problema que trata con este recurso crítico, el tiempo de ejecución del proyecto, es el denominado Scheduling o Secuenciación. De acuerdo con Ballesteros (2012) la meta del problema es generar el orden en que deben llevarse a cabo las actividades del proyecto, teniendo en cuenta una secuencia de actividades principales que se conoce como ruta crítica. Además, en la administración de proyectos no basta conocer esta ruta crítica, sino también minimizarla haciendo una eficiente utilización de los recursos. Entonces, Scheduling al trabajar con las actividades de un proyecto y con sus recursos, toma el nombre específico de problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados o RCPSP (Resources Constrained Project Scheduling Problem) (Pritsker, Watters, & Wolfe, 1969) para dar solución a las distintas situaciones que pueden surgir en la gestión.

El RCPSP encierra una familia de problemas de acuerdo a los objetivos, tipos de recursos disponibles y tipología de red. Según Cipriano, Mello, & Qassim (2010), el problema principal consiste en minimizar la duración total del proyecto, cuando las actividades que la componen no pueden interrumpir su ejecución y están sujetas exclusivamente a la

relaciones de precedencia del tipo Fin-Inicio. Las actividades utilizan para su ejecución un conjunto de recursos renovables con disponibilidad limitada y constante a lo largo del proyecto. Además las actividades tienen un único modo de ejecución, con una duración determinada y un consumo dado de recursos.

De este modo, el problema se caracteriza por fijar la duración y el consumo de recursos de cada actividad. En cuanto a la forma de realizar las actividades, una vez iniciada cada actividad no podrá ser detenida hasta haberse realizado en su totalidad, estas deberán realizarse siempre de la misma forma para garantizar la duración establecida, y además, una actividad sucesora no podrá iniciar si todas sus predecesoras inmediatas no se han completado. En cuanto a los recursos utilizados por actividad, estos reciben el nombre de recursos renovables debido a que pueden obtenerse fácilmente como son los materiales, la mano de obra, entre otros, pero que están restringidos por necesidades de presupuesto.

Desde un punto de vista más amplio, se considera al RCPSP como un problema de optimización combinatoria, debido a que se pueden codificar soluciones factibles mediante la combinación de las actividades que comprende el proyecto, o por decirlo de otra manera, mediante el intercambio de las posiciones en el orden de las actividades. Además puede catalogarse como un problema de naturaleza NP-hard (Blazewicz, Lenstra, & Rinnooy Kan, 1983), ya que para encontrar la solución óptima se requieren un tiempo considerable de procesamiento. Estos resultados obtenidos en tiempo no polinomial se perciben en proyectos de 30 actividades en adelante. Esta situación hace poco práctica la resolución del RCPSP a través de técnicas exactas, por ello se utilizan las metaheurísticas como una metodología de nivel superior que facilitan la obtención de soluciones satisfactorias para esta categoría de problemas.

Numerosos autores en el tema han utilizado diferentes enfoques metaheurísticos clásicos como algoritmos genéticos, recocido simulado, búsqueda tabú, entre otros. Actualmente se está abordando el problema RCPSP a través de nuevas metaheurísticas como optimización por enjambre de partículas, colonias de hormigas, o combinaciones de todas las anteriormente mencionadas.

En esta oportunidad, el medio que utilizaremos para llegar a la resolución del RCPSP será una nueva metaheurística llamada Cromática inspirada en la escala cromática de las notas musicales. Esta metaheurística es un método de optimización combinatoria basado en un algoritmo de búsqueda que hace una relación con las diferentes maneras con las que un músico u artista realiza y escoge la melodía más apropiada para una pieza musical, a partir de la combinación de distintas notas musicales de la escala cromática. Así mismo este procedimiento se puede aplicar al RCPSP para escoger la mejor secuencia del proyecto a partir de las posibles combinaciones de sus actividades respetando ciertos parámetros establecidos. Posteriormente a la obtención de resultados mediante la aplicación de la metaheurística cromática al Problema de Secuenciación de Proyectos con Recursos

Limitados, se procederá a realizar una comparación de estos con los resultados de otros algoritmos como el genético, la búsqueda tabú y el recocido simulado, en el mismo problema, para medir la propia eficiencia.

1.2. Formulación del Problema

La presente investigación ofrece una propuesta algorítmica para la generación de secuencias de actividades que permitan reducir el tiempo de ejecución de los proyectos. Se hará uso de diferentes metaheurísticas en la solución del problema, con el propósito de comparar el desempeño y calidad de la solución, respondiendo a la siguiente pregunta:

¿Es posible mejorar los resultados obtenidos del problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados, mediante la aplicación del algoritmo de la escala cromática de las notas musicales?

1.3. Sistematización del problema

Con el fin de guiar el desarrollo de la investigación frente al alcance de los objetivos se han trazado una serie de lineamientos que permiten la ordenación y organización permanente de la información, y además operativizar las actividades pertinentes.

1.3.1. Determinación del estado del arte

En investigación se debe tener en cuenta el alcance que han tenido otros investigadores con respecto al RCPSP, reconocer como han desarrollado métodos más efectivos para llegar a soluciones razonables, y sobre todo, identificar claramente que sección de la frontera del conocimiento queremos ampliar. Este proceso responde al interrogante:

¿Qué información relacionada con el tema será utilizada para la construcción del marco referencial y estado del arte?

1.3.2. Formulación y programación del modelo

En el ámbito referente al RCPSP existen diferentes modelaciones que, en teoría, brindarían soluciones muy cercanas al óptimo. Sin embargo, los tiempos que invierten en la resolución son poco aceptables, por lo que escoger una buena metaheurística es determinante. Posterior a la formulación, los modelos exactos y aproximados se han desarrollado con programaciones bastante eficientes que combinan métodos de búsqueda inteligente y sistemática. El interrogante que brinda claridad a este proceso es el siguiente:

¿Cuál será la formulación y programación del modelo a implementar?

1.3.3. Lenguaje de programación del modelo

Los lenguajes de programación son el medio que permiten al programador comunicarse con la máquina, para indicarle que haga una o varias funciones de forma automática. Las diferencias entre uno y otro lenguaje de programación radican en la sintaxis utilizada y el número de líneas de código de un programa en específico. En la solución del RCPSP se han utilizado lenguajes de programación reconocidos mundialmente como C, C++, Visual Basic, Java y otros más, por lo que se formula el siguiente interrogante:

¿Cómo se adaptará en el lenguaje de programación la metaheurística cromática al RCPSP?

1.3.4. Análisis estadístico

Una vez obtenidas las soluciones del RCPSP mediante la metaheurística cromática se dispondrá la utilización del método para medir la eficiencia de los resultados en comparación con las mejores soluciones obtenidas en las mismas instancias. Para orientar la decisión sobre las herramientas estadísticas surge la siguiente pregunta:

¿Qué herramientas estadísticas se utilizarán para el tratamiento de las soluciones y medición de eficiencia de la metaheurística?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Comparar los resultados, obtenidos del RCPSP mediante el uso de una nueva metaheurística, para delinear directrices en la optimización de la planificación y programación de las actividades en la administración de proyectos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Revisar la información necesaria que permita la construcción del estado del arte y marco referencial del RCPSP.
- Identificar la formulación y programación del modelo a implementar.

- Realizar la adaptación de la metaheurística cromática al RCPSP en el lenguaje de programación seleccionado.
- Establecer las herramientas estadísticas que se usarán para el tratamiento de las soluciones y la medida de eficiencia de la metaheurística.

1.5. Justificación

Debido a que este modelo conceptual es de utilidad para resolver problemas relacionados con la asignación de horarios, los procesadores de computadores, el balanceo de líneas de montaje, sistemas Jobshop, la planificación de la producción, el desarrollo de grandes sistemas de transporte como trenes y aviones, la implementación de sistemas JIT, entre otros; se busca con este estudio, por una parte, motivar la utilización de la herramienta Scheduling, primeramente en la academia y posteriormente en las empresas colombianas tanto manufactureras como de servicios. En consecuencia, el problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados posee un futuro prometedor en la medida que los empresarios lo conozcan, pues como afirma Ballesteros (2012), aunque el Scheduling existe hace más de doce años, su participación como una herramienta madura, en las organizaciones nacionales, no supera el 2%, dando como explicación de esta situación, la ausencia de adiestramiento a los profesionales por parte de todas las universidades del país, ya que el concepto es presentado solo desde el punto de vista de la gestión y no se muestra su aplicación completa.

Por otra parte, en realidad el problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados ha sido objeto de investigación intensiva desde finales de los años cincuenta. Según Herroelen una amplia variedad de paquetes de software de gestión de proyectos comercializados se han puesto en práctica y a pesar de todos estos esfuerzos, numerosos informes indican que muchos proyectos aumentan en tiempo y presupuesto (Herroelen, 2005). De esta manera los procedimientos de programación de muchos proyectos aún no han encontrado su forma de uso práctica.

En este sentido, las herramientas actuales (Software) se consideran insuficientes para alcanzar soluciones satisfactorias para la secuenciación de proyectos, que aunque son capaces de programar tareas, trazar diagramas de Gantt, asignar recursos, entre otras funciones; no son capaces de calcular mejores soluciones que conlleven a menor tiempo de ejecución del proyecto y mejor utilización de los recursos. Esta situación hace necesario el desarrollo de nuevos métodos heurísticos que puedan compararse y permitan establecer su eficiencia, para que posteriormente puedan ser incorporados a estos programas informáticos.

Por ello, con la realización del presente trabajo se desarrollará la adaptación de un nuevo método metaheurístico, que tiene el potencial de ofrecer buenos resultados en el tema de

secuenciación de proyectos con recursos limitados. En caso de obtener buenos resultados, se podría posicionar a la metaheurística cromática como uno de los algoritmos líderes en la resolución de problemas del tipo combinatorio, abriéndose a la posibilidad de incorporarse en softwares que incentiven el uso de esta en varios tipos de proyectos a nivel académico y empresarial.

Ahora bien, con nuestro estudio el beneficio más próximo estaría representado por la demostración de la aplicabilidad de la metaheurística cromática en la resolución de problemas del tipo RCPSP, que si logra obtener una mejora significativa en la resolución del problema se podría sustentar un beneficio en la administración de los proyectos, específicamente en las etapas de planificación y programación de las tareas y la asignación de los recursos. En caso contrario, se pudiera establecer un punto de referencia o de comparación para posteriores investigaciones que se realicen del tema.

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco teórico

2.1.1. Secuenciación (Scheduling)

La secuenciación es un proceso de toma de decisiones que se utiliza de forma regular en muchas industrias de manufactura y servicios. Se trata de la asignación de recursos a las tareas durante períodos de tiempo determinados y su objetivo es optimizar el uso de uno o varios recursos (Pinedo, 2012). La secuenciación de operaciones en un sistema productivo, es referenciado en muchos casos como programación o secuencias de trabajos en máquinas, o simplemente con el término universal de *scheduling* (Cortés Achedad & Onieva Giménez, 2008).

Los recursos y las tareas de una organización pueden adoptar formas diferentes. Los recursos pueden ser máquinas en un taller, pistas de aterrizaje en un aeropuerto, los equipos en una obra de construcción, unidades de procesamiento en un entorno informático, y otros ejemplos más. Las tareas pueden ser operaciones en un proceso de producción, los despegues y aterrizajes en un aeropuerto, las etapas de un proyecto de construcción, la ejecución de programas de ordenador, y otras más. Cada tarea puede tener un cierto nivel de prioridad, una hora de inicio más temprana posible y una fecha de vencimiento. Los objetivos también pueden adoptar muchas formas diferentes. Un objetivo puede ser la minimización del tiempo de finalización de la última tarea y otra puede ser la reducción al mínimo del número de tareas completadas después de sus respectivas fechas de vencimiento. La secuenciación, como proceso de toma de decisiones, juega un papel importante en la mayoría de los sistemas de fabricación y producción, así como en la mayoría de entornos de procesamiento de información. También es importante en el transporte y la configuración de distribución, y en otros tipos de industrias de servicios (Pinedo, 2012).

2.1.2. Secuenciación de Proyectos con Recursos Limitados

Los problemas de secuenciación de proyectos (PSP) son problemas que están conformados por actividades, relaciones de precedencia de las actividades, recursos y funciones de evaluación (Ballestín, 2001). A partir de la combinación de los diferentes tipos de recursos y relaciones de precedencia se obtienen las distintas variantes de este problema; otras

variantes se logran a través de la incorporación de interrupciones en las tareas, retrasos máximos y mínimos por ejemplo (Cervantes, 2010).

En esta oportunidad el trabajo se focalizará en el problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados (RCPSP) que constituye el modelo básico. Este tipo de problema posee unas características definidas: su objetivo es minimizar la duración del proyecto; las actividades que componen el proyecto no pueden interrumpir su procesamiento, están sujetas al tipo de relación de precedencia Fin-Inicio exclusivamente y no se presentan ciclos entre las actividades; y además, se utilizan recursos renovables y limitados (Cervantes, 2010).

2.1.3. Modelo del problema

En lo que se refiere a la formulación del RCPSP la literatura muestra múltiples modelos matemáticos desarrollados por distintos autores, entre los más divulgados se encuentran: Pritsker et al., (1969), (Talbot & Patterson, 1978), (Christofides, Álvarez-Valdés, & Tamarit, 1987), (Demeulemeester & Herroelen, 1992), (Mingozzi, Maniezzo, Ricciardelli, & Bianco, 1998), (Brucker, Knust, Schoo, & Thiele, 1998).

Ahora a modo de ejemplo se enunciará el modelo de Pritsker et al., (1969): Primero se definen las variables

$$F_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{si la actividad } j \text{ finaliza en el instante } t, \\ 0 & \text{en otro caso.} \end{cases}$$

Luego para acotar el proyecto se debe establecer la cota superior y esta se denotará por T, la forma más sencilla para estimar T es sumar la duración de todas las actividades del proyecto así:

$$T = \sum_{\forall j \in J} d_j$$

La formulación matemática inicia con la siguiente expresión:

$$\text{Min} \sum_{t=ES_{n+1}}^{LE_{n+1}} t F_{n+1}$$

Sujeto a:

$$\sum_{t=ES_j}^{LS_j} F_j = 1 \quad \forall j \in J$$

$$\sum_{\forall j \in J} \sum_{q=t}^{t+d_j-1} r_{jk} F_{jq} \leq R_k \quad \forall k \in K, \forall t / 1 \leq t \leq T$$

$$\sum_{t=ES_i}^{LS_i} t F_{it} \leq \sum_{t=ES_j}^{LS_j} (t-d_j) F_{jt} \quad \forall (i, j) \in E$$

Donde:

T es la cota superior para el tiempo de finalización del proyecto

d_j es la duración de la actividad j

F_{jt} es la variable de flujo de una actividad j para un instante t

t es el tiempo de finalización posible de una actividad j

ES_j es el tiempo temprano de inicio de la actividad j

LS_j es el tiempo tardío de inicio de la actividad j

k es el tipo de recurso

R_k es la restricción del recurso tipo k

r_{jk} es el requerimiento de la actividad j del recurso tipo k

El modelo de ejemplo y los demás modelos citados anteriormente intentan resolver el RCPSP garantizando soluciones óptimas mediante el uso de técnicas exactas como la programación lineal entera, programación lineal entera mixta, entre otras (Moreno, 2005).

Actualmente se ha optado por desarrollar métodos generales para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, que aunque pierden la propiedad de encontrar el óptimo, arrojan respuestas cercanas a él. Estos métodos son denominados heurísticos, estos surgen partiendo de modificaciones y simplificaciones de los modelos matemáticos mencionados anteriormente. Por otro lado los heurísticos permiten operar en tiempos significativamente menores que los métodos exactos, característica que los hace más atractivos al momento de implementarlos en la búsqueda de soluciones (Moreno, 2005).

2.1.4. Algoritmía

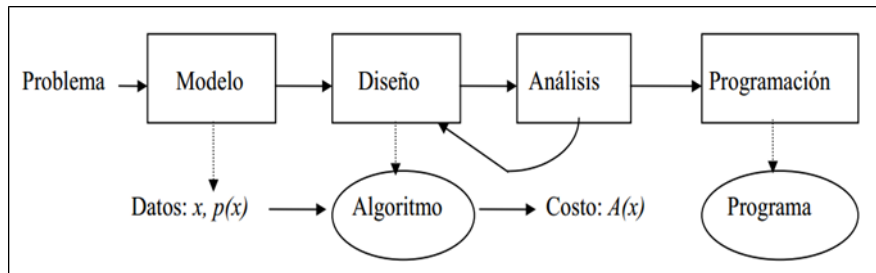
Etimológicamente la palabra algoritmo se deriva del árabe “al-Jwarismi” sobrenombre del padre del álgebra Muhammad ibn Musa abu Djafar Al’Jawarizmi, quien vivió entre 780 y 850 DC en Bagdad. Según el Diccionario de la Real Academia, este se define como el conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema. Otra definición no tan distante a esta, es referida por Joan Vancells (Vancells Flotats, 2002), que la describe como el procedimiento de cálculo que consiste en cumplir una serie o conjunto ordenado y finito de instrucciones que conduce, una vez especificados los datos, a la solución que el problema genérico en cuestión tiene para los datos considerados.

Partiendo de estas definiciones es posible observar que el objeto de estos es hallar la solución de los problemas, entendiéndose estos últimos como aquellas cuestiones conceptuales o prácticas cuya solución se puede expresar a través de un algoritmo (Martín Quetglás, Toledo Lobo, & Cerverón Lleó, 1995), y haciendo claridad en lo que respecta a la identificación de un inicio y un final en un proceso ordenado, es así como se pueden identificar ejemplos sencillos de algoritmos como lo son las recetas de cocina o las instrucciones de ensamble de un juguete.

En la actualidad el concepto es usado para denominar la secuencia de los pasos a seguir para resolver un problema usando equipos de cómputo, sin embargo, estos se pueden expresar de muchas maneras, con lenguajes diferentes. En lenguaje natural pueden llegar a ser muy complicados y difíciles de entender; pueden existir tantas posibilidades de expresarlos como personas lo hagan, por esta razón es necesaria la codificación del algoritmo a un lenguaje computacional o lenguaje algorítmico (Vancells Flotats, 2002).

El desarrollo de un algoritmo tiene varias etapas (Baeza Yates, 2012) (Ver Figura 1). Primero se modela el problema que se necesita resolver, a continuación se diseña la solución, luego ésta se analiza para determinar su grado de corrección y eficiencia, y finalmente se traduce o codifica a instrucciones de un lenguaje de programación. El modelo especifica todos los supuestos acerca de los datos de entrada y de la capacidad computacional del algoritmo. El diseño se basa en distintos métodos de resolución de problemas, muchos de los cuales serán presentados más adelante. Para el análisis de un algoritmo debemos estudiar cuántas operaciones se realizan para resolver un problema. Si se puede demostrar que no existe un algoritmo que realice menos operaciones para resolver un problema, se dice que el algoritmo es óptimo, ya sea en el peor caso o en el caso promedio, dependiendo del modelo. Por esta razón, el análisis realimenta al diseño, para mejorar el algoritmo.

Figura 1. Etapas de Desarrollo de Algoritmos



Fuente: (Baeza Yates, 2012)

2.1.5. Complejidad computacional

En la solución de problemas es posible observar como varios algoritmos llevan a una misma respuesta, sin embargo la diferencia entre estos y su eficiencia puede estar dada en el tiempo computacional requerido para solucionarlo.

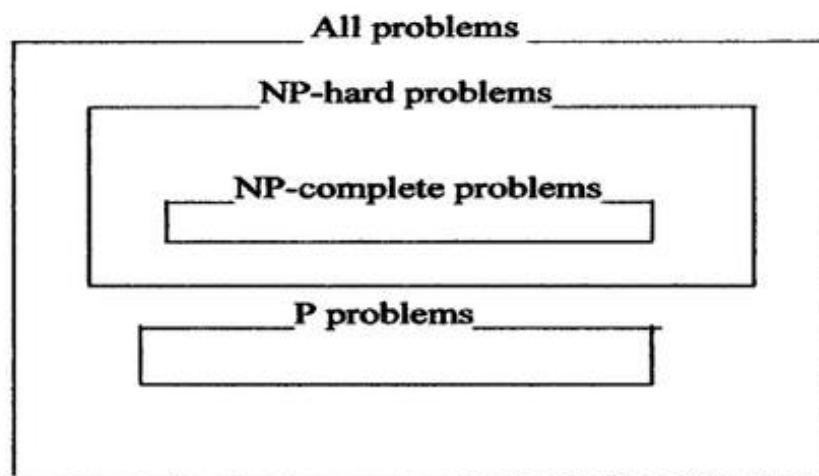
Para comparar la eficiencia de los algoritmos, Juris Hartmanis y Richard E. Stearns desarrollaron una medida del grado de dificultad de un algoritmo, conocida como *complejidad computacional* (Hartmanis & Stearns, 1965). La complejidad computacional indica el esfuerzo que se requiere aplicar a un algoritmo o cuán costoso resulta. Este costo puede medirse en una variedad de formas, y el contexto particular determina su significado. Existen diferentes criterios para la medición de la eficiencia, como lo son el tiempo y el espacio, el primero por lo general más importante, por lo que es común que las consideraciones de eficiencia se centren en la cantidad de tiempo transcurrido cuando se procesan datos (Drozdek, 2007).

Se han definido varias clases de problemas, entre las que se destacan P, NP, NP-completo y NP-duro. Hoy en día no se ha encontrado ningún algoritmo que obtenga una solución óptima en tiempo polinómico para una gran cantidad de problemas útiles de optimización combinatoria. Por lo tanto, no se pueden resolver de forma óptima en tiempos de ejecución razonables. Se dice que un problema se puede resolver en un tiempo polinómico cuando el tiempo de ejecución de un algoritmo que lo resuelve se puede relacionar con el tamaño de la entrada con una fórmula polinómica. Los problemas para los que existe un algoritmo polinómico se denominan problemas P. Se considera que los problemas P se pueden resolver en un tiempo de ejecución razonable con las herramientas tecnológicas actuales. Por otra parte, la clase NP, al igual que la clase P, también es manejable, pero solo se puede resolver en problemas grandes cuando se utilizan algoritmos no deterministas. (Duarte Muños & Pantrigo Fernández, 2007)

La Teoría de la NP-completitud no proporciona un método para obtener algoritmos de tiempo polinómico. Ni dice que estos algoritmos no existan. Lo que muestra es que muchos de los problemas para los cuales no conocemos algoritmos polinómicos están relacionados (computacionalmente). Los problemas NP-duro, definen como el conjunto de problemas de

decisión donde no existe un algoritmo capaz en tiempo polinomial de resolver cualquier instancia del problema y que al menos tan difíciles como un problema de NP. El Gráfico 2 expone, los dos posibles casos en la teoría de complejidad computacional, para el caso en el que $P \neq NP$ los problemas P están contenidos en NP y los NP-completos son la intersección entre los NP y los NP-duros, y para el caso en el que $P=NP$ los NP-duros contienen a los P, NP y NP-completos (Garey & Johnson, 1979).

Figura 2. Familias de los problemas P, NP, NP-Completo y NP-Duro



Fuente: (V & Sen, 2005)

La importancia de identificar el tipo de problema y su complejidad, radica en que de este modo es posible determinar los procedimientos y herramientas con las que se pueda resolver, con lo que es posible dar aprovechamiento del tiempo.

2.1.6. Métodos Metaheurísticos

El término *metaheurística* se obtiene de anteponer a *heurística* el sufijo *meta* que significa “más allá”. En la actualidad, se entiende como metaheurísticas las técnicas de búsqueda basadas en diferentes interpretaciones de lo que es una forma inteligente de resolver un problema. Gran cantidad de metaheurísticas han sido desarrolladas durante los últimos años. Muchas de ellas se inspiran en metáforas naturales (evolución de las especies, proceso de recocido, comportamiento de colonias de insectos, enjambres, sistemas inmunológicos, etc.) para resolver problemas complejos.

2.1.6.1. Algoritmo genético

El propósito de los Algoritmos Genéticos, propuestos por John H. Holland en 1975 (Holland, 2001) fue el de construir un modelo general de proceso adaptable: desde entonces, esta técnica se ha convertido en una de las áreas de estudio más prometedoras de la Inteligencia Artificial, la Investigación de Operaciones, la Teoría de Algoritmos, la Ingeniería de Software y de la Teoría de la Complejidad Computacional. El funcionamiento básico de un Algoritmo Genético parte del crear un cromosoma o cadena de información, generalmente binaria, conocida como genotipo, la cual establece la relación entre un conjunto de soluciones de un problema, al cual se le conoce como fenotipo, y el conjunto de individuos de una población inicial. Los nuevos cromosomas se formarán utilizando operadores genéticos de cruzamiento y mutación y serán evaluados en cada nueva iteración o generación usando una medida de aptitud, originándose así, una nueva descendencia. En la literatura se encuentra que diversos autores como Alcaraz (Alcaraz & Maroto, 2001), Hartmann (Hartmann & Kolisch, 2000), entre otros que resuelven el problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados, a través del uso de encoding de lista de actividades, con un esquema de secuenciación en serie. Siento esta forma de trabajar la más popular de resolver este problema (Kolisch & Hartmann, 2006).

Búsqueda tabú

La Búsqueda Tabú (Glover & Melián, 2003) es un método metaheurístico que emplea un algoritmo determinístico de avance iterativo pero con la posibilidad de aceptar soluciones mejores o peores a la actual, lo cual permite guiar la búsqueda fuera de óptimos locales y a través de nuevos entornos de soluciones. Posee una estructura altamente adaptable a los detalles del problema. Toma de la Inteligencia Artificial el concepto de memoria, permitiendo eludir los mínimos locales así como ejecutar su estrategia de exploración, la cual pretende evitar búsquedas reiterativas en una misma región. La memoria adaptativa es representada a través de una lista tabú, la cual contiene para cada iteración, las mejores soluciones o en su defecto, los movimientos realizados para obtener dicha solución, los cuales no serán contemplados nuevamente en futuras iteraciones, lo que facilita tener un reducido número de soluciones elegibles; sin embargo, para evitar la pérdida de información al no incluir las soluciones completas, se emplea un 'criterio de aspiración' que permite introducir nuevas soluciones aunque estén prohibidas por la lista tabú. Por otra parte, de acuerdo con lo planteado por Kolisch & Hartmann (Kolisch & Hartmann, 2006), los autores utilizan en su mayoría una heurística de construcción como un esquema de secuenciación ya sea en serie o paralelo (Nonobe & Ibaraki, 2002), un encoding como lista de actividades como soluciones iniciales que son modificados por medio de movimientos shift y movimientos swap. Además de eso en la búsqueda de mejores soluciones para el

problema utilizan una estrategia de mejora que un operador específico de reducción de vecindario (Kolisch & Hartmann, 2006).

Colonia de hormigas

Es una de las metaheurísticas más recientemente empleadas para enfrentar problemas de optimización combinatoria y que ha dado resultados relativamente satisfactorios, especialmente en lo relacionado con la eficiencia. La hormiga registra trayectorias aleatorias en búsqueda de su alimento, al hallarlo y regresar a su colonia deposita feromona, la cual permite que otras hormigas sigan el rastro reforzando la intensidad de la feromona y evitando su evaporación, con lo que se define el camino más corto entre su nido y la fuente de alimento. Al momento de definir la metaheurística, el concepto de la evaporación de la feromona es utilizado para evitar que el algoritmo converja a un óptimo local. Si no existiese la evaporación de la feromona, cualquier trayectoria sería igual de atractiva para las hormigas lo que se traduciría en una exploración muy amplia del entorno de soluciones. Al igual que las demás metaheurísticas, este tipo usa un esquema de secuenciación para decodificar las soluciones iniciales, y las reglas de prioridades para la selección de las actividades son usadas para generar los valores de las feromonas, así se puede realizar la adaptación que permite la resolución del RCPSP (Hartmann & Kolisch, 2000)

Recocido simulado

Dada a conocer por Kirkpatrick (Kirkpatrick, Gelatt, & Vecchi, 1983), el Recocido o Enfriamiento Simulado (Simulated Annealing - SA) más que una metaheurística es una estrategia heurística para problemas de optimización global de funciones con un espacio de búsqueda amplio, la cual requiere de varias decisiones que tienen gran influencia en la calidad de las soluciones generadas y que está inspirada en el proceso del tratamiento térmico del acero, denominado recocido. Si se establece una relación entre el proceso termodinámico del recocido y el de optimización combinatoria se tendría que: los estados del sistema representan las soluciones factibles, la energía simboliza el coste, el cambio de estado representa la solución del entorno, la temperatura simula a los parámetros de control y por último, el estado congelado o de enfriamiento representa la solución heurística. Para la resolución del RCPSP, autores como Bouleimen & Lecocq (Bouleimen & Lecocq, 2003) entre otros, utilizan soluciones iniciales creadas a partir de reglas de prioridades que son decodificadas mediante el uso de un esquema de secuenciación. Luego para obtener mejores se utilizan los operadores propios de la metaheurística (Kolisch & Hartmann, 2006).

2.2. Estado del arte

Los problemas de secuenciación de proyectos (PSP) son problemas que están conformados por actividades, relaciones de precedencia de las actividades, recursos y funciones de evaluación (Ballestín, 2001). A partir de la combinación de los diferentes tipos de recursos y relaciones de precedencia se obtienen las distintas variantes de este problema; otras variantes se logran a través de la incorporación de interrupciones en las tareas, retrasos máximos y mínimos por ejemplo (Cervantes, 2010).

En esta oportunidad el trabajo se focalizará en el problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados (RCPSP) que constituye el modelo básico. Este tipo de problema posee unas características definidas: su objetivo es minimizar la duración del proyecto; las actividades que componen el proyecto no pueden interrumpir su procesamiento, están sujetas al tipo de relación de precedencia Fin-Inicio exclusivamente y no se presentan ciclos entre las actividades; y además, se utilizan recursos renovables y limitados (Cervantes, 2010).

Recursos renovables son aquellos recursos cuya existencia no se agota con su utilización, debido a que vuelven a su estado original o se regeneran a una tasa mayor a la tasa con que los recursos renovables son disminuidos mediante su utilización. Esto significa que ciertos recursos renovables pueden dejar de serlo si su tasa de utilización es tan alta que evite su renovación. Ejemplos: las horas hombre, maquinas, herramientas, espacio; estos recursos están disponibles periodo a periodo, es decir, la cantidad disponible se renueva de un periodo a otro. Algunos ejemplos de **recursos no renovables** son: el dinero, materias primas o energía; estos recursos están disponibles durante todo el proyecto y se van consumiendo conforme se ejecutan las actividades.

Recursos doblemente limitados son recursos que están limitados tanto por el periodo como un total disponibles en el proyecto, por ejemplo, la restricción de presupuesto limita no solo los gastos de todo el proyecto, sino también el consumo para cada periodo.

Recursos parcialmente no limitados son recursos cuya disponibilidad es renovada en intervalos específicos de tiempo. Estos tipos de recursos pueden ser vistos como un concepto genérico de todos los tipos de recursos.

2.3.1. Métodos de solución de los problemas tipo RCPSP

En la resolución de problemas de secuenciación de proyectos con recursos limitados se tienen en cuenta dos métodos generales de abordaje, que como tal, poseen sus ventajas y desventajas. Como primera forma de búsqueda de soluciones se presenta el método exacto, que comúnmente llega a la solución óptima del problema, pero que también requiere un gran esfuerzo computacional y no logra obtener resultados para problemas de tamaño

mediano y grande. Otra manera más popular es el uso del método aproximado, el cual ofrece buenas soluciones sin ser el óptimo en un tiempo de cómputo razonable.

El RCPSP es un problema de tipo combinatorio que hace parte de la clase NP-hard (Ladner, 1975), esto hecho hace que sea poco factible resolverlos en tiempo polinomial, es decir, tiempo razonable utilizando modelos exactos, incluso haciendo uso de las computadoras más potentes fabricadas hasta hoy (Rivera, Moreno, Díaz, & Peña, 2006). Por esta razón, actualmente no se utiliza el método exacto como los citados anteriormente para el RCPSP sino más bien el método aproximado, que aunque pierden la propiedad de encontrar el óptimo, arrojan respuestas cercanas a él.

Estos métodos aproximados surgen partiendo de modificaciones y simplificaciones de los modelos matemáticos mencionados anteriormente. El hecho que operen en tiempos significativamente menores que los métodos exactos, los hace más atractivos al momento de implementarlos en la búsqueda de soluciones (Moreno, 2005). A continuación se hará referencia a los métodos aproximados.

2.3.1.1. Métodos aproximados

2.3.1.1.1. Métodos basados en reglas de prioridad

Los métodos aproximados aplicados a la secuenciación de proyectos se ven regidos primordialmente por los métodos que implican prioridad en cada uno de sus elementos. Los métodos que son la base para estos estudios son los conocidos como técnica de revisión y evaluación de programas (PERT) y método de la ruta crítica (CPM), haciendo énfasis en los datos que proporcionan. Entre estos encontramos el tiempo total mínimo de la realización proyecto, los tiempos temprano y tiempos tardíos de las actividades, las holguras entre otros. Estas medidas permiten establecer que reglas de prioridad se usaran para llevar de mejor manera la ejecución del proyecto. Los elementos que conforman los métodos aproximados son dos: un esquema generador de secuencias (SGS) y una regla de prioridad.

a) Esquema generador de secuencias

El SGS proporciona la forma en que se distribuirán las actividades en una secuencia asignando sus tiempos de inicio, para obtener una solución factible. Los esquemas de secuenciación se pueden dar en serie o en paralelo. La secuencia total o definitiva se forma por medio de secuencias parciales que resultan de múltiples decisiones en cada una de sus etapas. Las secuencias parciales se encuentran representadas por subconjuntos de

actividades del proyecto que tienen asignado un tiempo de finalización (Kolisch, Serial and parallel resource constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation, 1995). Las decisiones que rigen la construcción de los esquemas del generador de secuencias tienen que ver con las actividades elegibles en el instante particular de las etapas.

- **Esquema en serie:** Consiste en asignar tantas etapas como actividades en el proyecto, en el cual cada etapa se selecciona de acuerdo a una regla de prioridad y se programa tan pronto como sea posible dentro de las condiciones establecidas por las restricciones de las relaciones de precedencia y las restricciones de la disponibilidad de los recursos. El algoritmo termina cuando todas las actividades del proyecto están programadas (Kolisch, Serial and parallel resource constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation, 1995). La ventaja de este método es que el conjunto de soluciones generadas por el esquema en serie siempre incluye la solución óptima.
- **Esquema en paralelo:** Consiste en disponer tantas actividades como sea posible en cada tiempo de decisión. El tiempo de decisión se define como el tiempo de finalización de las actividades en ejecución. Esto se trata de un conjunto de las secuencias sin retraso, en las cuales no existe ningún periodo tal que una actividad que sea factible en cuanto a relaciones de precedencias y recursos en dicho periodo no haya sido programada (Kolisch, Serial and parallel resource constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation, 1995). Estas secuencias son más compactas, pero en ocasiones no incluyen al menos una solución óptima.

b) Reglas de prioridad

La regla de prioridad determina cual actividad se debe seleccionar durante un proceso de búsqueda heurística. Estas reglas de prioridad generan una lista de actividades ordenadas desde la más importante a la menos importante, lógicamente respetando las relaciones de precedencia. En la actualidad hay muchas reglas de prioridad cuyo desempeño depende de la instancia en estudio. Klein (2000) en su trabajo evalúa 73 de ellas, mientras que Alvarez-Valdés & Tamarit (1989) evalúa su eficiencia y selecciona 6 como las más eficientes.

2.3.1.1.2. Métodos multipasada basados en reglas de prioridad

Se basa fundamentalmente en el método de una sola pasada que consta de un esquema de generador de secuencia y una regla de prioridad, a diferencia que se hace esto más de una

vez. En este método se combinan los dos esquemas de secuenciación, la secuenciación en varias direcciones y diferentes reglas de prioridad, generando buenas soluciones de las cuales se guarda la mejor en cada instancia.

2.3.1.1.3. Métodos aleatorizados

Este método consiste en asignarle a cada actividad del conjunto de decisión una probabilidad de ocurrencia. De este modo con cada pasada se obtiene una secuencia diferente y se va guardando la mejor hasta que el resultado no pueda ser mejorado. Dentro de los métodos aleatorizados, el más poderoso es el así llamado Regret Based Biased Random Sampling (RBRS) introducido por Drex1 (1991). Este método calcula las probabilidades de manera indirecta utilizando el regret value ρ_i de cada actividad, el cual compara el valor de la prioridad de la actividad i con el valor más bajo entre todas las actividades del conjunto de decisión.

$$\rho_i = \begin{cases} \max_{j \in DS} \nu(j) - \nu(i) & \text{si el objetivo es minimizar} \\ \nu(i) - \min_{j \in DS} \nu(j) & \text{si el objetivo es maximizar} \end{cases}$$

El valor de la probabilidad se calcula mediante:

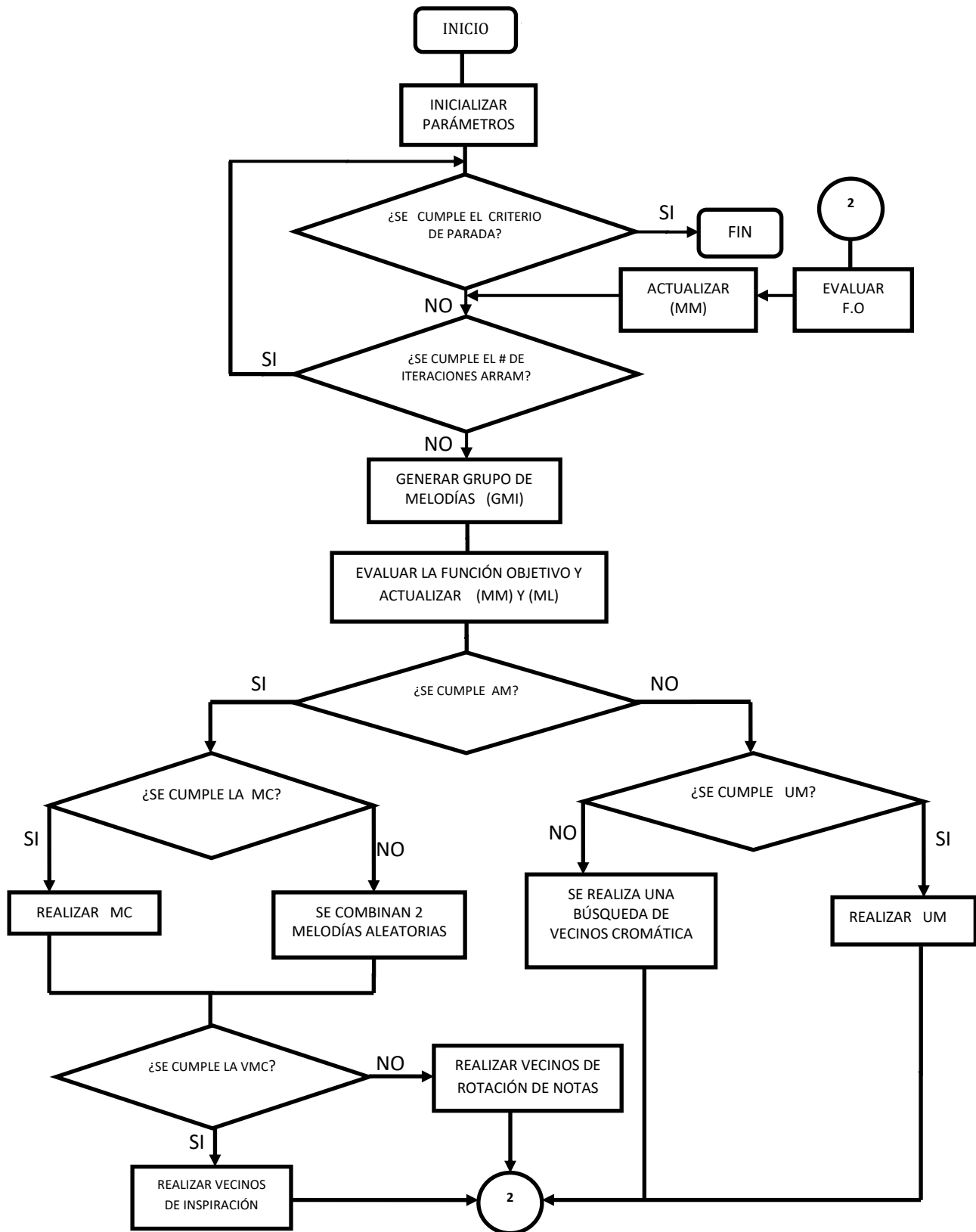
$$\psi(i) = \frac{(\rho_i + \epsilon)^\alpha}{\sum_{j \in DS} (\rho_j + \epsilon)^\alpha}$$

2.3.1.1.4. Métodos metaheurísticos

En la actualidad, un algoritmo metaheurístico puede ser visto como una estrategia inteligente para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos con un alto desempeño (Melián, Moreno, & Moreno, 2003). Algunas de las metaheurísticas más destacadas son las siguientes: la búsqueda tabú (Nonobe & Ibaraki, 2002), la búsqueda local (Hindi, Yang, & Fleszar, 2002) (Naphade, Wu, & Storer, 1997), el recocido simulado (Bouleimen & Lecocq, 2003), los algoritmos genéticos (Alcaraz & Maroto, 2001) (Valls, Ballestin, & Quintanilla, 2003), optimización por enjambre de partículas (Tchomte, Gourgand, & Quilliot, 2007), entre otras.

Para esta ocasión, se implementará la metaheurística cromática, su funcionamiento puede ser descripto de forma gráfica mediante el uso del siguiente esquema:

Figura 3. Esquema del funcionamiento del algoritmo crómico



Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

2.3.1.1.5. Método de Mejora Forward-Backward para el RCPSP

En esta técnica, consiste en hacer al menos una pasada forward y una backward a una secuencia factible. En la pasada backward las actividades son reordenadas en orden decreciente de su tiempo de finalización y se aplica el esquema en serie a esta nueva secuencia. Como resultado las actividades se mueven a la derecha a la posición más tardía posible. En la pasada forward las actividades se mueven al momento más temprano posible que permita su holgura libre. Para ello las actividades de la secuencia factible son ordenadas en orden creciente de su tiempo de inicio y se aplica el esquema de generación serie a esta nueva secuencia. Según Tormos & Lova (2001), el método consiste en tomar una secuencia factible e iterativamente hacer pasadas backward/forward (BF) hasta que en dos pasadas BF consecutivas no hubiera mejora en el tiempo de duración del proyecto.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

A lo largo del capítulo se abordará lo referente al tipo de diseño de investigación realizado y cada una de las etapas que condujeron la investigación a la obtención de los resultados posteriormente presentados. Además, se desarrollará de manera detallada el procedimiento utilizado para la generación de las secuencias que posibilitan la obtención del tiempo de duración del proyecto o Makespan.

Como punto de partida para esta investigación se realizó una revisión bibliográfica donde se identificó los principales componentes relacionados con el esquema de generación de secuencias y la metaheurística Cromática, para luego a través de su adaptación al problema poder obtener los resultados de las instancias de prueba seleccionadas.

3.1. Tipo y diseño de investigación

Teniendo en cuenta la temática planteada para esta investigación, es posible clasificarla como una investigación cuantitativa de tipo experimental por las características inherentes a ella. En primer lugar, este tema se está afrontando desde una perspectiva innovadora, que busca ampliar la frontera del conocimiento en lo que respecta a los problemas de secuenciación de proyectos. Como segundo, se intenta demostrar que la metaheurística Cromática puede arrojar resultados promisorios dentro de este tipo de problemas, así mismo mostrar que la manipulación del esquema de secuencia propuesto en esta investigación ofrece una alternativa prometedora. Por último, sentar un precedente que sirva como base para posteriores investigaciones del tema o adaptaciones para problemas similares.

Por otro lado, el diseño de la investigación es en parte experimental, pues se prueban tres distintos tratamientos asumidos como variables independientes para la obtención de las duraciones de los proyectos entendidos como variables dependientes, en donde los distintos tratamientos generan distintos Makespan, que son analizados desde el punto de vista estadístico para la selección del mejor tratamiento. Además este estudio tiene un componente transaccional debido a que las mediciones se realizan en un tiempo determinado y no se realiza un seguimiento de la evolución de ellas.

3.2. Problema de Secuenciación de Proyectos con Recursos Limitados (RCPSP)

En el RCPSP se trabaja con un único proyecto formado por un conjunto de actividades $V = \{1, \dots, n\}$, que deben ser procesadas. Las actividades 1 y n son actividades ficticias que representan el inicio y final del proyecto, respectivamente. Las actividades están interrelacionadas por dos tipos de restricciones:

3.2.1. Restricciones del problema

a) Las relaciones de precedencia son del tipo FS con parámetro 0.

Las relaciones de precedencia de las actividades son estrictamente Fin-Inicio, y el parámetro FS toma el valor de cero porque no hay unidades de tiempo entre el fin de una actividad y el inicio de su actividad sucesora. Para cada actividad j existe un conjunto **Pred_j** de actividades que deben finalizar antes de que j pueda comenzar. A los elementos de **Pred_j** se les denomina **predecesores inmediatos de j**. Además se cumple que:

- Para toda $j \neq 1$, el conjunto **Pred_j** nunca es conjunto vacío.
- Para toda $j \neq n$, existe una actividad i tal que j pertenece al conjunto **Pred_i**.

La actividad i recibe el nombre de **sucesora inmediata de j**, por motivo que la actividad j es predecesora inmediata de la actividad i . El conjunto de los **sucesores inmediatos de j** se denota por **Suc_j** y se cumple que 1 (n) es predecesora (sucesora) de toda actividad.

b) Los recursos.

Realizar las actividades consume recursos de los que se dispone en cantidades limitadas. Disponemos de K tipos de recursos renovables, incluidos en el conjunto $K = \{1, \dots, k\}$. Se dispone de una cantidad limitada del tipo de recurso k en cada instante de tiempo, llamada **R_k**. Mientras está siendo procesada, una actividad j necesita **r_{j, k}** unidades del tipo de recurso k que pertenece a K durante cada periodo de su duración **d_j** (únicamente existe un modo en el que procesar las actividades). Las actividades no se pueden interrumpir una vez comenzadas.

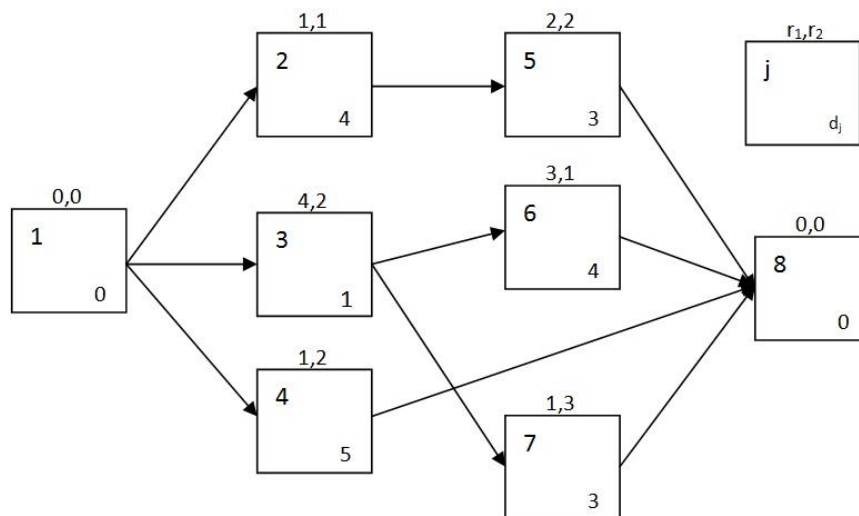
3.2.2. Definiciones del problema

Los parámetros d_j , $r_{j,k}$ y R_k se suponen conocidos, determinados y enteros; además, $d_1 = d_n = 0$ y $r_{1,k} = r_{n,k} = 0$ para todo k que pertenece a K . El objetivo del RCPSP es encontrar tiempos de comienzo (o de finalización, es equivalente dada la no interrupción de las

actividades) para todas las actividades que cumplan las restricciones de precedencia y de recursos, y de tal manera que se minimice la duración del proyecto.

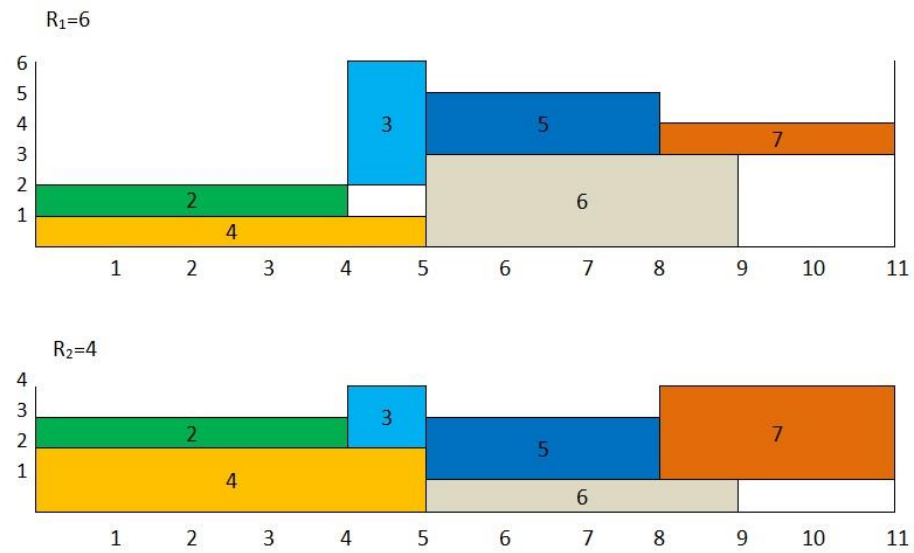
En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo que contiene $n = 8$ actividades y $K = \{1, 2\}$ tipo de recurso renovable con una limitación de 6 y 4 unidades, respectivamente. La figura contiene todos los datos del proyecto. En la Figura 3.2 se representa una secuencia posible con una duración del proyecto de 11 unidades. En la Figura 3.3 se representa la solución óptima del problema, con una duración de 10 unidades. Este modo de representar una secuencia se denomina diagrama de Gantt. El eje horizontal representa el tiempo y, en este caso, el vertical representa la utilización de cada tipo de recurso (Se traza un diagrama por cada tipo de recurso k). Cada rectángulo representa la actividad respectiva con el número que aparece dentro de él. La longitud del rectángulo corresponde a la duración de la actividad que representa, y la altura indica las unidades de ese tipo de recurso que emplea esa actividad. Denotamos s_j (f_j) como el comienzo (final) de la actividad j en una secuencia S . La secuencia o solución S es cualquier vector de tiempos de comienzo $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ o, equivalentemente, cualquier vector de tiempos de finalización $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$. Se supone, salvo que se especifique lo contrario, que siempre se cumple que $s_1 = 0$ y $s_n = \text{Max} \{f_j; j = 1, \dots, n-1\}$. Se denomina **longitud o duración de la secuencia** a f_n la duración del proyecto si éste se realizara según esa secuencia, y se denota por $T(S)$. Llamaremos secuencia posible o solución posible a aquella secuencia donde las actividades cumplen las relaciones de precedencia y las restricciones de recursos.

Figura 4. Ejemplo problema de secuenciación con 2 recursos renovables



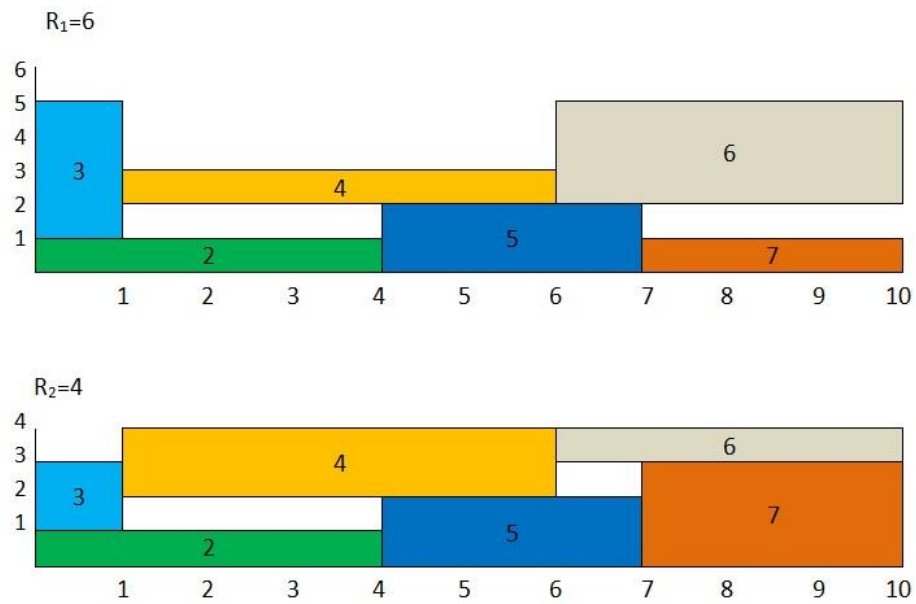
Fuente: Autores

Figura 5. Secuencia posible con una duración del proyecto de 11 unidades



Fuente: Autores

Figura 6. Secuencia posible con una duración del proyecto de 10 unidades



Fuente: Autores

3.3. Instancias de Prueba

Las instancias utilizadas corresponden al resultado de un generador para una clase general de PSP denominado PROGEN (PROject GENerator). PROGEN genera proyectos de forma aleatoria, pero de manera que la instancia resultante cumpla una serie de restricciones introducidas a priori. Estas restricciones están basadas en una serie de parámetros, que se dividen en dos subconjuntos.

El primer subconjunto de parámetros consta de:

- a) el número de actividades
- b) el número de tipos de recursos existente en el problema
- c) la duración de las actividades no ficticias
- d) el número de recursos que utiliza cada actividad
- e) la cantidad de cada recurso que utiliza cada actividad
- f) el número de sucesores de 1
- g) el número de predecesores de n
- h) el número de predecesores y de sucesores del resto de actividades.

El segundo subconjunto de parámetros contiene los siguientes parámetros:

- a) La complejidad de la red **NC** (Network Complexity). Define el número medio de relaciones de precedencia no redundantes por actividad.
- b) El factor de recurso **RF** (Resource Factor). Suministra la proporción media del número de diferentes tipos de recursos para los que cada actividad no ficticia posee una demanda de recurso no nula. Por ejemplo:

$$RF = \frac{1}{(n-2) \cdot K} \sum_{j=2}^{n-2} \sum_{k \in K} \begin{cases} 1 & \text{si } r_{j,k} > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

El RF refleja la proporción media de recursos utilizados por actividad. Es una medida de la densidad de la matriz $(r_{j,k})_{j,k}$. RF = 1 implica que cada actividad utiliza todos los tipos de recursos, mientras que si RF = 0, nos encontramos ante un problema sin restricciones de recursos.

- c) La intensidad de recursos **RS** (Resource Strength). Es un valor entre 0 y 1 que representa la escasez en la disponibilidad de recursos. Se utiliza de la siguiente manera. Se determina la demanda mínima de cada recurso para que exista alguna solución posible, R_k^{min} y una cantidad máxima R_k^{max} y la disponibilidad se obtiene

como $R_k = R_k^{min} + RS (R_k^{max} - R_k^{min})$. R_k^{min} se calcula como $\max \{r_{j,k}, j \in V\}$, y R_k^{max} como la demanda máxima del recurso k en la secuencia ES.

PROGEN se ha empleado para generar cuatro conjuntos de problemas, denominados **j30**, **j60**, **j90** y **j120**. Todas las instancias de estos conjuntos han sido generadas según los siguientes datos donde Q = número de tipos de recursos que precisa una actividad:

Tabla 1. Caracterización de las instancias

	K	$d_j, j \neq 1, n$	Q	$r_{j,k}, j \neq 1, n$	Suc _l	Pred _n	$Suc_j, j \neq 1, n$	$Pred_j, j \neq 1, n$
min	4	1	1	1	3	3	1	1
max	4	10	4	10	3	3	3	3

Fuente: Autores

Las instancias de cada uno de esos conjuntos utilizan el mismo número de actividades no ficticias ($j30 \rightarrow 30$, $j60 \rightarrow 60$, $j90 \rightarrow 90$ y $j120 \rightarrow 120$). Los cuatro conjuntos fueron contruidos mediante un diseño factorial completo respecto de los parámetros NC, RF y RS. Los valores para NC fueron 1.5, 1.8 y 2.1, mientras que $RF \in \{0.25, 0.5, 0.75, 1\}$. En j120 $RS \in \{0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5\}$, mientras que en el resto, $RS \in \{0.2, 0.5, 0.7, 1\}$. Fijémonos en que las instancias con $RS = 1$ son triviales, puesto que la secuencia ES es posible y, por tanto, óptima. Se obtuvieron 10 réplicas (con 10 semillas diferentes) para cada combinación de parámetros, por lo que el número de instancias en j120 es $3 \times 4 \times 5 \times 10 = 600$ y para el resto de conjuntos es $3 \times 4 \times 4 \times 10 = 480$.

Desde su creación en 1996, diversos autores han contribuido con sus soluciones a la mejora de las cotas, especialmente de las cotas superiores. Una parte o la totalidad de estas instancias ha sido utilizada en la mayoría de artículos con algoritmos para el RCPSP desde la aparición de PSPLIB, tanto para evaluar los algoritmos exactos (Brucker, Drexl, Möhring, Neumann, & Pesch, 1999) (Herroelen, De Reyck, & Demeulemeester, Resource-Constrained Project Scheduling: A Survey Of Recents Developments, 1998) (Demeulemeester & Herroelen, 1992), como los algoritmos heurísticos (Baar, Brucker, & Knust, 1991), (Hartmann & Kolisch, 2000), (Kolisch & Hartmann, 1999), (Nonobe & Ibaraki, 2002).

3.4. Representación de las soluciones (encoding)

Las soluciones se representan por medio de una lista de valores enteros o decimales de n elementos correspondientes a cada actividad del proyecto que se esté procesando. La solución $S = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ dará como resultado la regla de prioridad para las actividades

del proyecto, donde p_1 es el valor correspondiente a la actividad 1, p_2 a la actividad 2, y así sucesivamente. El conjunto S será el individuo que el esquema de secuencia medirá para identificar su Makespan. Evidentemente, el tamaño del conjunto S cambiará directamente con el número de actividades n del proyecto. Para el ejemplo anteriormente explicado, se podría representar una solución (regla de prioridad) y posteriormente medirla con el esquema de secuencia en serie (escogiendo el menor p_j):

Figura 7. Representación de la solución (Regla de Prioridad)

0.568	5	1.54	3.6	0.788	0.478	2.63	0.548
j=1	j=2			...			j=8

Fuente: Autores

Tabla 2. Ejemplo de secuenciación en serie

Etapas (E. S. Serie)	1	2	3	4	5	6	7	8
Actividades Secuenciadas	{1}	{1,3}	{1,3,6}	{1,3,6,7}	{1,3,6,7,4}	{1,3,6,7,4,2}	{1,3,6,7,4,2,5}	{1,3,6,7,4,2,5,8}
$F_g =$ Tiempos f_j	{0}	{0,1}	{0,1,5}	{0,1,5,4}	{0,1,5,4,9}	{0,1,5,4,9,8}	{0,1,5,4,9,8,11}	{0,1,5,4,9,8,11,11}
$D_g =$ Actividades Disponibles	{2,3,4}	{2,4,6,7}	{2,4,7}	{2,4}	{2}	{5}	{8}	{Φ}
Actividad j seleccionada	3	6	7	4	2	5	8	-

Fuente: Autores

Tabla 3. Ejemplo de secuenciación en paralelo

Etapas (E. S. Paralelo)	1	1	1	2	2	3	3	4	-
$t_g =$ Tiempo de secuenciación	0	0	0	1	1	5	5	8	11
$A_g =$ Actividades activas	{1}	{3}	{3,4}	{4}	{4,6}	{Φ}	{5}	{Φ}	{Φ}
Tiempos f_j de los A_g	{0}	{1}	{1,5}	{5}	{5,5}	{Φ}	{8}	{Φ}	{Φ}
$C_g =$ Actividades completadas	{1}	{1}	{1}	{1,3}	{1,3}	{1,3,4,6,2}	{1,3,4,6,2}	{1,3,4,6,2,5}	{1,3,4,6,2,5,7}
$D_g =$ Actividades Disponibles	{2,3,4}	{2,4}	{Φ}	{2,6}	{2}	{5,7}	{Φ}	{7}	{8}
Actividad j seleccionada	3	4	-	6	2	5	-	7	8

Fuente: Autores

La escogencia de una actividad j para secuenciarla depende de dos condiciones:

- El esquema de secuencia seleccionado (serie o paralelo)
- Decisión en la regla de prioridad (se escoge el mayor o menor p_j)

3.5. Descripción de la metaheurística cromática

El algoritmo Cromático es una metaheurística desarrollada por Sabie y Mestra (Sabie & Mestra, 2011) basada escala cromática de las notas musicales. Este es un nuevo método de optimización combinatoria que se inspira y hace una relación con las diferentes maneras

con las que un músico u artista realiza y escoge la melodía más apropiada para una pieza musical, a partir de la combinación de distintas notas musicales de la escala cromática. La idea principal del método radica en que el músico elige o escoge la mejor melodía, la cual es la que mejor se adapta y representa apropiadamente una tonada específica. Esta metaheurística se caracteriza porque no necesita de un gran tamaño en el grupo de melodías que se tienen como opción de búsqueda, es decir, que no necesita de un gran número de soluciones iniciales para obtener buenos resultados. El algoritmo realiza una búsqueda de vecinos a través de la escala cromática de las notas musicales y realiza movimientos de búsqueda que se fundamentan en conceptos musicales, además hace que la exploración del espacio de soluciones sea eficiente gracias a que utiliza la combinación de poblaciones con diferentes características, logrando así diversificar el conjunto de soluciones con el que se trabaja, es decir, que este algoritmo realiza arranques múltiples en su búsqueda para poder salir de óptimos locales, lo cual es una gran ventaja en muchos problemas de optimización donde existen gran cantidad de variables. No obstante se resalta que esta metaheurística ofrece una muy buena alternativa para la recombinación y búsqueda de vecinos en problemas que son trabajados en codificación real, lo que le da gran relevancia para resolver diferentes tipos de problemas que necesitan de este tipo de codificación.

Para comprender el funcionamiento de la nueva metaheurística a continuación se exponen los parámetros con los que trabaja el nuevo método y se explican sus principales operadores de vecindad, así como algunos aspectos que son de gran relevancia para su utilización y algunas características del algoritmo cromático.

3.5.1. Búsqueda en la Escala Cromática

La base fundamental de este algoritmo gira en torno a esta escala, ya que gracias a esta se logra realizar una nueva selección de vecinos entre los valores más próximos a cada variable en cuestión, la idea principal de la búsqueda esta es inspeccionar los espacios más reducidos de cada segmento de la recta de los números reales, con el fin de obtener mejores resultados.

3.5.2. Escala Cromática

La escala cromática de las notas musicales se caracteriza principalmente por tener medio tono de distancia entre una nota y otra, lo que hace que esta cumpla con unas distancias específicas y definidas para cada nota.

Figura 8. Escala Cromática

DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI
----	-----	----	-----	----	----	-----	-----	------	----	-----	----

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

En esta escala a medida que se incrementa o se sube en su orden de notas respectivo también se aumenta el grado de dicha escala, lo que hace que existan notas de igual nombre, pero con distinto sonido, debido a que estas poseen distintos grados de la escala, en otras palabras se tendrían notas altas debido a que están en un grado mayor.

Figura 9. Escala de grado mayor

Primer grado												Segundo grado											
DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

Como se muestra anteriormente la escala sigue aumentando su grado a medida que se avanza a través de esta por lo que se considera que existe un número infinito de notas y de grados respectivos.

Teniendo en cuenta que en la escala cromática se puede realizar un acenso infinito en sus notas, se encontró que esta tiene una equivalencia con la escala infinita de los números reales, lo que quiere decir que una nota de un grado específico se le podría asignar una serie de números reales correspondientes.

3.5.3. Vecinos de Escala Cromática

La adaptación para la búsqueda en la búsqueda de vecinos de escala cromática se realiza en números reales se adoptó la idea de la equivalencia de la recta numérica con la escala cromática, por lo que se le asignó un intervalo de números reales a cada nota musical en la recta numérica real, con una distancia de 0,5 entre un intervalo y otro. Para hacer una búsqueda de vecinos en la escala cromática se prosigue con los siguientes pasos:

- 1) Se escoge la posición j del número real en la melodía (individuo) al cual se le buscarán vecinos que pertenecen al intervalo de búsqueda.
- 2) Se calcula el valor de la variable delta según la fórmula:

$$\delta = \frac{\text{numero real}}{0.5}$$

3) Se obtiene β al aproximar el valor de la variable δ a su entero siguiente

4) Se calcula el valor de la variable omega según la fórmula:

$$\Omega = \frac{\beta}{12}$$

5) Se obtiene α al aproximar el valor de la variable Ω a su entero anterior. Alfa se denota como el grado de cada nota.

6) Se calcula el valor nota musical según la fórmula:

$$\text{valor nota musical} = \beta - 12\alpha$$

7) Se determina la nota correspondiente al valor nota musical según la tabla:

Tabla 4. Valores numéricos de las notas musicales

VALOR NOTA MUSICAL	NOTA MUSICAL
0	SI
1	DO
2	DO#
3	RE
4	RE#
5	MI
6	FA
7	FA#
8	SOL
9	SOL#
10	LA
11	LA#

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

es la convención musical llamada sostenido, utilizada para indicar que dicha nota se entona o toca un semitono más alta.

8) Se calculan los límites inferior y superior del intervalo de búsqueda de vecinos para cualquier nota, según las fórmulas:

$$\text{Limite inferior} = 6\alpha + 0.5(\text{Valor nota musical}) - 0.5$$

$$\text{Limite superior} = \text{Limite inferior} + 0,5$$

9) Se divide el intervalo de búsqueda en dos intervalos de igual tamaño, y se establecen según las fórmulas:

$$\text{Intervalo 1} \rightarrow (L_{\text{inf}}, \frac{L_{\text{inf}}+L_{\text{sup}}}{2}]$$

$$\text{Intervalo 2} \rightarrow (\frac{L_{\text{inf}}+L_{\text{sup}}}{2}, L_{\text{sup}}]$$

10) Se identifica en cuál intervalo se encuentra el número real en la posición j y se prosigue a generar dos números aleatorios.

a) Si el valor j de la posición de la solución, a la que se le generara el vecino se encuentra en el intervalo 1. Entonces se generan dos números aleatorios así:

s → aleatorio entre L_{inf} y el valor j (proveniente de una distribución uniforme)

p → aleatorio entre j y el valor $\frac{L_{\text{inf}}+L_{\text{sup}}}{2}$ (proveniente de una distribución uniforme)

b) Si en el caso contrario valor j de la posición de la solución, a la que se le generara el vecino se encuentra en el intervalo 2. Entonces se generan dos números aleatorios así:

s → aleatorio entre $\frac{L_{\text{inf}}+L_{\text{sup}}}{2}$ y el valor j (proveniente de una distribución uniforme)

p → aleatorio entre j y el valor L_{sup} (proveniente de una distribución uniforme)

11) Con los valores aleatorios s y p se construyen dos individuos nuevos a partir del individuo inicial. En el primero se reemplaza el valor de la posición j por el valor s, y en el segundo se reemplaza el valor de la posición j por el valor p.

12) Luego se evalúan los dos individuos y se escoge aquel con mejor solución.

A modo ilustrativo se muestra el siguiente ejemplo (Figura 10), donde se codifica la solución de 8 posiciones. Si se desea realizar una búsqueda de vecinos en escala cromática se realizan el conjunto de pasos anteriormente descritos:

Figura 10. Solución codificada de 8 posiciones

0.568	5	1.54	3.6	0.788	0.478	2.63	0.548
j=1	j=2		...				j=8

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

1) La posición del individuo escogida en la número 1 (j=1), por lo que el número real al cual se le buscarán vecinos es el valor 0.568

- 2) $\delta = 0.568 / 0.5 = 1.136$
- 3) $\beta = 2$
- 4) $\Omega = 2 / 12 = 0.167$
- 5) $\alpha = 0$
- 6) Valor nota musical = $2 - 12(0) = 2$
- 7) Nota: DO#
- 8) $L \text{ inf} = 6(0) + 0.5 (2) - 0.5 = 0.5$ $L \text{ sup} = 0.5 + 0.5 = 1$
- 9) De lo anterior se encuentra que su intervalo de búsqueda de vecino es (0.5; 1]. Este intervalo se divide en dos y se obtiene dos nuevos intervalos como se expone a continuación.

El intervalo 1 $\rightarrow (0.5; 0.75]$ y el intervalo 2 $\rightarrow (0.75; 1]$
- 10) Como el valor 0.568 de la primera posición del individuo se encuentra en el intervalo 1, entonces se generan dos números aleatorios así:

s \rightarrow aleatorio entre 0.5 y el valor 0.568 (proveniente de una distribución uniforme)

p \rightarrow aleatorio entre 0.568 y el valor 0.75 (proveniente de una distribución uniforme)
- 11) Supóngase que el valor aleatorio s es 0.5342 y el valor aleatorio p es 0.643. Los dos individuos nuevos serían:

Figura 11. Vecinos en la escala cromática

0.5342	5	1.54	3.6	0.788	0.478	2.63	0.548
0.643	5	1.54	3.6	0.788	0.478	2.63	0.548

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

- 12) Se evalúan los dos nuevos vecinos y se escoge el mejor para continuar con la búsqueda.

3.5.4. Vecinos de Inspiración

Este tipo de variación resulta de un cambio pensamiento y sentido en la posición de una nota específica la cual es cambiada de forma imprevista y que busca mejorar la melodía que se tiene actualmente. Este tipo de vecinos se obtienen generando un número entero aleatorio entre 1 y n posiciones del individuo. El número obtenido representa la nota (posición j) que se modificara a través de la inspiración, luego se cambia la nota escogida por un numero aleatorio del espacio de soluciones del problema y proveniente de una distribución uniforme.

3.5.5. Vecinos de Rotación de Notas

Este tipo de vecinos se basa movimientos que rotan las posiciones actuales de algunas notas específicas, fundamentándose en las distancias de una nota con su primera, cuarta ,quinta y octava nota de su escala musical correspondiente, es aquí donde entran en juego algunos conceptos básicos musicales para este tipo de operador de vecindad. Este movimiento tiene como objeto mover las posiciones claves para la escala de una nota en particular, en otras palabras se hace una semejanza con el proceso musical en el que para una nota los cambios melódicos más importantes y básicos, son los cambios de en su primera, cuarta, quinta y octava nota de su escala musical. Para realizar esta variación de melodía es necesario tener en cuenta la escala de general de las notas musicales, dado que para poder generar un vecino de este tipo se necesita un mínimo de ocho variables, debido a que los movimientos que se realizan necesitan cumplir ciertas distancias en relación a este número. Los movimientos de vecinos de rotación a su pueden ser de dos clases: descendentes y ascendentes.

3.5.6. Vecinos de Rotación Descendentes

Se obtiene la octava, la quinta, la cuarta y la primera de la nota correspondiente.

8va→ un número entero aleatorio entre 8 y las n notas del individuo.

5ta → se obtiene al restar 3 unidades de la octava: $5ta = 8va - 3$

4ta → se obtiene al restar 4 unidades de la octava: $4ta = 8va - 4$

1ra → se obtiene al restar 7 unidades de la octava: $1ra = 8va - 7$

Los movimientos para la generación de vecinos de rotación descendentes son expuestos a continuación:

Supóngase que para un individuo de 20 posiciones, el número entero aleatorio correspondiente a la 8va es 15. Las posiciones para la quinta, cuarta y primera nota serían las siguientes:

$$5ta = 15 - 3 = 12$$

$$4ta = 15 - 4 = 11$$

$$1ra = 15 - 7 = 8$$

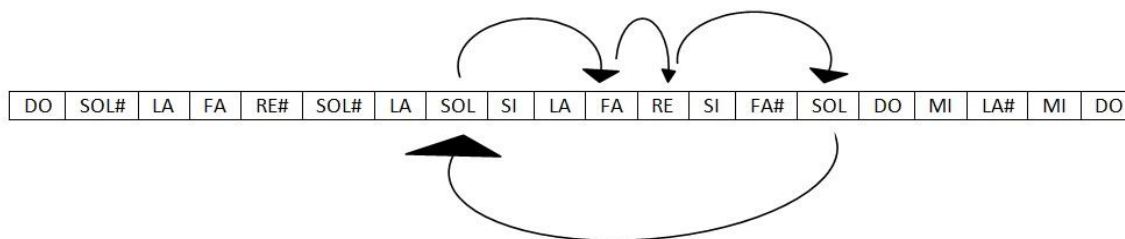
Figura 12. Posiciones de las notas relativas a la octava para vecino por rotación descendente

					1ra				4ta 5ta				8va						
DO	SOL#	LA	FA	RE#	SOL#	LA	SOL	SI	LA	FA	RE	SI	FA#	SOL	DO	MI	LA#	MI	DO

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

Una vez seleccionadas las posiciones claves se realizan los movimientos de rotación con sentido hacia la derecha, cambiando así el orden y las posiciones de cada nota. Cada nota gira hacia delante tomando la posición clave más cercana.

Figura 13. Rotación descendente de las notas



Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

La nueva melodía queda de la siguiente manera:

Figura 14. Vecino por rotación descendente de notas

					1ra				4ta 5ta				8va						
DO	SOL#	LA	FA	RE#	SOL#	LA	SOL	SI	LA	SOL	FA	SI	FA#	RE	DO	MI	LA#	MI	DO

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

3.5.7. Vecinos de Rotación Ascendentes

Se obtiene la primera, la cuarta, la quinta y la octava de la nota correspondiente.

1ra → un número entero aleatorio entre 1 y las $(n - 8)$ notas del individuo.

4ta → se obtiene al sumar 3 unidades a la primera: $4ta = 1ra + 3$

5ta → se obtiene al sumar 4 unidades a la primera: $5ta = 1ra + 4$

8va → se obtiene al sumar 7 unidades a la primera: $8va = 1ra + 7$

Los movimientos para la generación de vecinos de rotación ascendentes son expuestos a continuación:

Supóngase que para el mismo individuo anterior de 20 posiciones, el número entero aleatorio correspondiente a la 1ra es 4. Las posiciones para la cuarta, quinta y octava nota serían las siguientes:

$$4ta = 4 + 3 = 7$$

$$5ta = 4 + 4 = 8$$

$$8va = 4 + 7 = 11$$

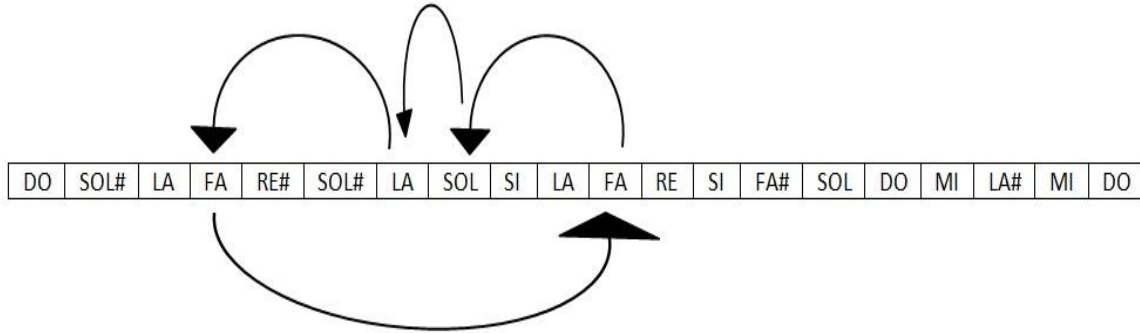
Figura 15. Posiciones de las notas relativas a la octava para vecino por rotación ascendente

1ra					4ta		5ta		8va										
DO	SOL#	LA	FA	RE#	SOL#	LA	SOL	SI	LA	FA	RE	SI	FA#	SOL	DO	MI	LA#	MI	DO

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

Una vez seleccionadas las posiciones claves se realizan los movimientos de rotación con sentido hacia la izquierda, cambiando así el orden y las posiciones de cada nota. Cada nota gira hacia atrás tomando la posición clave más cercana.

Figura 16. Rotación ascendente de las notas



Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

La nueva melodía queda de la siguiente manera:

Figura 17. Vecino por rotación ascendente de notas

1ra				4ta		5ta	8va												
DO	SOL#	LA	LA	RE#	SOL#	SOL	FA	SI	LA	FA	RE	SI	FA#	SOL	DO	MI	LA#	MI	DO

Fuente: (Sabie & Mestra, 2011)

Para trabajar con este algoritmo en problemas de optimización combinatoria que no alcancen el mínimo de variables para realizar los tipo de vecinos explicados anteriormente se recomienda utilizar operadores de vecindad que intercambien varias posiciones en un solo movimiento, debido a que de esta forma será más fácil salir de óptimos locales y el método no será afectado drásticamente.

3.6. Parámetros Metaheurística Cromática

3.6.1. Arreglo Melódico

El arreglo melódico es un ajuste en las melodías o cambio de melodías para realizar la búsqueda de la MEJOR MELODÍA (MM), este procedimiento se realiza para cada una de las melodías pertenecientes al grupo total de melodías que se tienen en la búsqueda. Para que se pueda realizar un arreglo melódico es necesario tener en cuenta el parámetro ARREGLO MELÓDICO (AM). La condición para que exista un arreglo melódico es que la probabilidad del parámetro (AM) sea mayor que un número aleatorio entre cero y uno, proveniente de una distribución uniforme.

3.6.2. Melodía Conveniente

Cuando la probabilidad de arreglo melódico se cumple para una melodía o solución del algoritmo, entonces se requiere de una melodía conveniente, en la cual se parte inicialmente de la elección de una solución inicial, la cual es la combinación de una serie de notas musicales y se asume como la mejor melodía conveniente a utilizar. Esta melodía conveniente, se escoge a partir del parámetro MELODÍA CONVENIENTE (MC) que se rige bajo una probabilidad de aceptación, lo que implica que si la probabilidad de aceptación MC es mayor que un número aleatorio entre cero y uno, proveniente de una distribución uniforme, se acepta como melodía conveniente a la mejor melodía encontrada en la iteración, MELODÍA LOCAL (ML), en otras palabras esta melodía conveniente corresponde la a solución local encontrada hasta el momento con el mejor valor en la función objetivo. Y en el caso contrario se escogen dos melodías (S ,P) aleatoriamente del conjunto de melodías que se tienen como opción y se le asigna a la primera melodía S escogida el valor de uno y a la segunda melodía P el valor de dos, se genera un número aleatorio entre uno y dos. Si se obtiene un valor de 1 se asigna el valor de la melodía S en la posición específica. Si por el contrario, se obtiene el valor de 2 se asigna el valor de la melodía P en la posición específica. Este proceso se hace a lo largo de todas las n posiciones de los individuos (melodías) S y P, con el fin de obtener una nueva melodía híbrda. La figura 18 ilustra un ejemplo.

Figura 18. Obtención de una melodía híbrda

Melodía S	0.568	5	1.54	3.6	0.788	0.478	2.63	0.548
Melodía P	0.921	3	0.664	4.2	0.57	0.553	3.5	0.84
Melodía Híbrda	0.921	5	1.54	4.2	0.788	0.553	3.5	0.84
	j=1	j=2			...			j=8

Fuente: Autores

3.6.3. Utilización de la Mejor Melodía

Si no se cumple la probabilidad de arreglo melódico entonces se utiliza el parámetro de UTILIZACIÓN DEL MEJOR (UM), que se rige bajo una probabilidad de utilización, lo que implica que si la probabilidad de utilización UM es mayor que un número aleatorio entre cero y uno, se utiliza la mejor melodía proveniente de una distribución uniforme. Esta utilización consiste en remplazar el valor en la posición aleatoria j de la solución

actual por el valor que tenga la MEJOR MELODÍA (MM) en esa misma posición. Si se da el caso contrario que el número aleatorio sea mayor que el parámetro UM entonces el valor entero aleatorio j de la posición se le realizara una de BÚSQUEDA DE VECINOS DE ESCALA CROMÁTICA. Estos cambios en valores de los individuos se pueden llevar a cabo en una o más posiciones, dependiendo de qué significativos sean los cambios.

3.6.4. Variación de la Melodía Conveniente

En este paso se introduce un nuevo parámetro al algoritmo que es llamado VARIACIÓN DE MELODÍA CONVENIENTE (VMC), debido a que este parámetro implica variar o cambiar la melodía conveniente que actualmente se tiene, mediante la búsqueda de vecinos. Estos vecindarios pueden ser de dos tipos, los que se generan con base en los VECINOS DE INSPIRACIÓN o los que se generan través los VECINOS DE ROTACIÓN DE NOTAS. La variación de la melodía conveniente, se realiza a través del parámetro VMC que se rige bajo una probabilidad de variación, lo que implica que si la probabilidad de variación VMC es mayor que un número aleatorio entre cero y uno proveniente de una distribución uniforme, se modifica la melodía conveniente a través de la INSPIRACIÓN y en caso contrario se realiza la variación de la melodía conveniente mediante la ROTACIÓN DE NOTAS.

3.6.5. Operador de mejora

Con el fin de hacer una búsqueda más exhaustiva de la mejor melodía (MM) en la metaheurística cromática, se ha incluido un nuevo operador en uno de los procesos del algoritmo. Exactamente, luego que la melodía es aceptada como arreglo melódico (AM) y a su vez aceptada como melodía conveniente (MC), es afectada por este nuevo operador. El propósito de este, es encontrar soluciones en vecindades que resultan de entrelazar o combinar las posiciones de los últimos tres individuos que han arrojado buenas soluciones hasta el momento. Desde luego, el operador realiza su trabajo después de cierto número de arranques (ARRAM), pues el individuo que entre a esta zona será diferente del generado inicialmente.

3.7. Selección de variables independientes

Las variables independientes presentes en el estudio las conforman dos clásicas tomadas de la literatura como lo son la secuenciación en serie o en paralelo, y una tercera propuesta que manipula la secuenciación en serie por medio de la inclusión de un operador de diversificación tomado de la búsqueda tabú. Estas variables independientes a su vez se

alimentan de variables abstraídas de las instancias propuestas como lo son el número de actividades, el número de recursos, requerimientos de recursos, duraciones de las actividades, entre otras.

3.8. Selección de Parámetros

Los parámetros seleccionados para esta investigación corresponden únicamente a los seleccionados para el funcionamiento de la metaheurística Cromática, estos son Arreglo Melódico (AM), Melodía Conveniente (MC), Validación de la Melodía Conveniente (VMC), Utilización del Mejor (UM). Para efectos prácticos no se utilizó ningún método estadístico para su escogencia, su elección obedece a un proceso de ensayo y error, haciendo tanteo sobre el valor de los parámetros. Se fijó la calidad de los resultados y se esperó la variación en el tiempo que consumía el algoritmo para llegar a estos. Se hicieron 3 compilaciones por cada combinación de parámetros, con cada una de las 5 primeras instancias de los proyectos de 120 actividades obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5. Variación de parámetros

Combinación de parámetros (MC;VMC;AM;UM) respectivamente	Tiempo de procesamiento				
	Instancia 1	Instancia2	Instancia3	Instancia4	Instancia5
(0,15;0,50;0,20;0,10)	5,3min	4,0min	3,8min	4,7min	4,5min
(0,35;0,50;0,20;0,20)	7,0min	5,1min	5,1min	4,8min	5,1min
(0,40;0,60;0,30;0,20)	4,5min	4,2min	5,0min	4,3min	5,8min
(0,50;0,60;0,50;0,40)	3,9min	3,4min	4,1min	3,7min	4,3min
(0,70;0,70;0,60;0,60)	3,6min	3,0min	4,5min	3,6min	4,0min
(0,90;0,80;0,90;0,80)	3,5min	3,1min	3,8min	3,7min	3,0min

Fuente: Autores

Con esto se pudo establecer cuáles son los valores más convenientes para cada uno de los parámetros. Los valores escogidos son:

Tabla 6. Selección de parámetros

FACTOR	DESCRIPCIÓN	NIVELES DEL FACTOR
MC	Probabilidad Melodía conveniente	0.9
VMC	Probabilidad de variación de Melodía conveniente	0.8
AM	Probabilidad de arreglo melódico	0.9
UM	Probabilidad de utilizar el mejor	0.8

Fuente: Autores

3.9. Toma de datos

Para la medición de los Makespan se tomaron las instancias de pruebas desarrolladas y propuestas por el Dr. Rainer Kolisch, de donde se escogió específicamente las correspondientes al RCPSP con 30, 60 y 120 actividades. Dichas instancias se encuentran en la base de datos llamada psplib, recuperadas en la página de internet <http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/datasm.html>. Las instancias de 30 actividades están compuestas por 480 problemas al igual que las instancias de 60 actividades, mientras que las instancias de 120 actividades suman en total 600 problemas.

A medida que el número de actividades del proyecto se incrementa, su complejidad también lo hace, implicando un mayor esfuerzo computacional para su resolución.

Para la obtención de los datos se pondrán en marcha la evaluación de cada uno de los problemas (instancias) con cada tratamiento (serie, paralelo y serietabú), mediante el cual se obtendrán tres tipos de resultados por problema que posteriormente podrán ser comparados para la elección del mejor tratamiento.

3.10. Desarrollo de las instancias seleccionadas

Para el desarrollo de las instancias se utiliza un método constructivo optimizado a través de una estrategia metaheurística. Los métodos constructivos utilizados hacen referencia a los esquemas de generación de secuencia (SGS), que son capaces de medir nuestra función objetivo y luego con la ayuda de la metaheurística cromática se busca la minimización de esta función objetivo.

Inicialmente, se utiliza el esquema de secuenciación en serie (SSS), en donde a cada actividad se le asigna una regla de prioridad de la cual dependerá la selección de cada actividad perteneciente al grupo de elegibles, que es recalculado cada vez que se secuencia una actividad.

Posteriormente, se recurre a un esquema de secuenciación en paralelo (SSP), en el cual también se asigna una regla de prioridad pero el grupo de elegibles depende de un tiempo específico que se recalcula en cada etapa.

Después de analizar los dos esquemas de secuencia anteriores, se propuso como método de mejora la combinación del esquema de secuenciación en serie con un operador de diversificación tomado de la búsqueda tabú (SSSS). El aporte del operador incorporado se evidencia en el cambio de vecindarios luego de un número de iteraciones sin mejora del tiempo del proyecto (Makespan), para empezar a buscar a partir de otra solución factible donde probablemente exista una mejor solución que la encontrada en el vecindario anterior.

Por su parte la metaheurística cromática actúa sobre las reglas de prioridades, las cuales son modificadas tomando en cuenta cada uno de los parámetros con el fin de cambiar o rotar algunas posiciones de las reglas de prioridad, permutarlas, reasignar valores, entre otros. Cada regla de prioridad es tomada como un individuo de la metaheurística y a su vez es evaluada mediante el uso de alguno de los esquemas de generación de secuencias, donde la primera es evaluada y su resultado es almacenado como punto de referencia. A medida que se van evaluando los individuos restantes, sus resultados se van comparando con el punto de referencia, si la solución encontrada es mejor se actualiza, sino la búsqueda continua. De esta manera se garantiza que cuando el tiempo de procesamiento de la instancia termina se logra el mejor resultado posible.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. Análisis de resultados

Con el objetivo de efectuar comparaciones del desempeño de cada algoritmo sin importar la instancia en la cual fue ejecutado, se estandarizaron los valores de la función objetivo obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$Z_i = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i}$$

Donde x_{ij} es el valor de la función objetivo obtenido en la instancia i en la réplica j , \bar{x}_i es el promedio de las observaciones para la instancia i , s_i es la desviación estándar de las observaciones de la instancia i y Z_i es el valor normalizado.

Todos los análisis estadísticos de los resultados fueron realizados en el software estadístico Statgraphics Centurion XV v15.2.0.6 de la compañía Statpoint, Inc.

4.1.2. Análisis y comparación global de algoritmos

Para la comparación de los algoritmos seleccionados se realizó el diseño experimental respectivo con tres réplicas experimentales (Ver Anexo 1. Determinación del tamaño de la muestra). Para garantizar un estándar entre los problemas independiente de su tamaño, se tomó como criterio de parada el número de arranques, por tanto para cada replica se estableció un número máximo de 100 arranques (ARRAM = 100).

En la comparación de los algoritmos se utilizaron instancias de prueba de tres tipos, de 30 actividades, 60 actividades y 120 actividades. Dado el número de réplicas se obtuvo un total de 14040 observaciones en el diseño de experimentos realizado.

Cada instancia de prueba se corrió tres veces en cada algoritmo propuesto (paralelo, serie y serie tabú), con esta información se genera una tabla en donde se relacionan estadísticos tales como el promedio aritmético de los resultados obtenidos por los distintos algoritmos, así mismo los mínimos resultados y la desviación estándar obtenidos por los algoritmos propuestos. A continuación se muestra la estructura utilizada utilizando 10 instancias de 30

actividades (para ver los resultados completos de todas las instancias ver anexo 2 Estadísticos por instancias).

Tabla 7. Tabla ejemplo de estadísticos instancias de 30 actividades

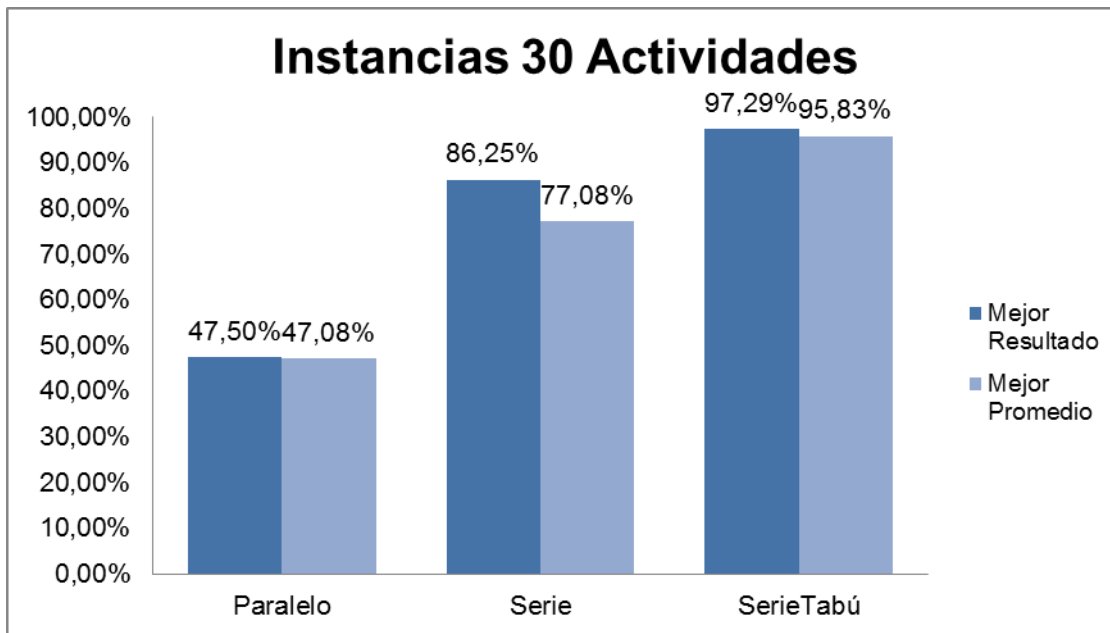
Instancia	Paralelo			Serie			SerieTabú		
	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar
J301_1	53	53	0	43	43	0	43	43	0
J301_2	54	54	0	47	47	0	47	47	0
J301_3	53	53	0	47	47	0	47	47	0
J301_4	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J301_5	40	40	0	39	39	0	39,6666	39	0,5773
J301_6	49	49	0	48	48	0	48	48	0
J301_7	64	64	0	60	60	0	60	60	0
J301_8	66	66	0	53	53	0	53	53	0
J301_9	52	52	0	49,6666	49	0,5773	50	50	0
J301_10	47	47	0	45	45	0	45	45	0

Fuente: Autores

Ahora bien, por tipo de instancia se logró compilar con base en los resultados obtenidos el número de veces que cada algoritmo alcanzo el mejor makespan (mínimo resultado) y el número de veces que alcanzo el mejor promedio por instancias.

Como punto de referencia para medir los mejores promedios y los mejores resultados se escogió el mejor promedio por instancia independientemente del algoritmo de que provenga, así mismo se escogió el mejor resultado obtenido por instancia independientemente del algoritmo que se haya utilizado.

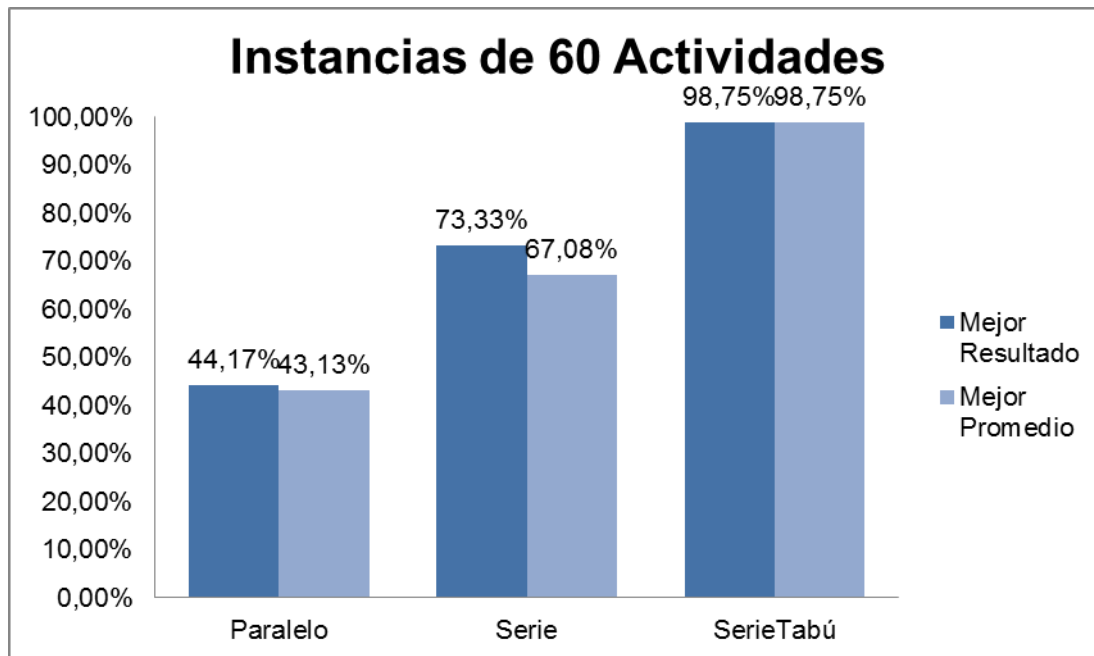
Figura 19. Mejores resultados y promedios para instancias de 30 actividades



Fuente: Autores

Para el caso de las instancias de 30 actividades se tiene que el algoritmo de paralelo presenta un rendimiento equilibrado pues presenta un 47,5% de mejores resultado y aproximadamente el mismo porcentaje en los mejores promedio por instancia, con estos porcentajes se clasifica con el algoritmo con el rendimiento más bajo. El algoritmo en serie muestra un porcentaje de 86,25% de mejores resultados y un 77,1% aproximadamente de mejores promedio, lo que indica que el algoritmo es competitivo pero no el mejor. Por su parte el algoritmo SerieTabú presenta 97,29% y 95,83% de mejores resultados y promedios respectivamente, lo que indica que el algoritmo fue el que mejores resultados alcanzó.

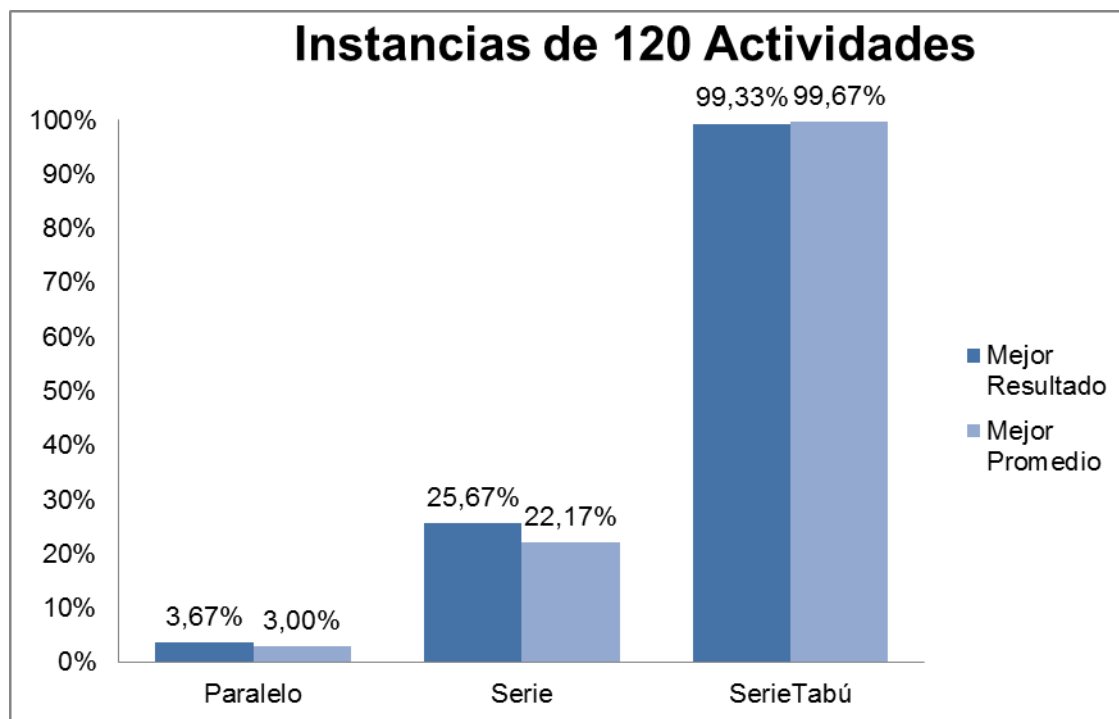
Figura 20. Mejores resultados y promedios para instancias de 60 actividades



Fuente: Autores

En las instancias de 60 actividades vemos que el mejor rendimiento lo obtuvo el algoritmo SerieTabú con un 98,75% de mejores resultados y promedios. Por su parte el algoritmo en Serie presento un 73,33% de mejores resultados mientras que alcanzó un 67,08% de mejores promedios por instancias, así pues el algoritmo demostró ser eficiente en algo más del 67% de las instancias en donde se ejecutó. El algoritmo en paralelo obtuvo el peor rendimiento de los tres algoritmos, alcanzó el 44,17% de los mejores resultados y el 43,13% de los mejores promedios por instancias.

Figura 21. Mejores resultados y promedios para instancias de 120 actividades



Fuente: Autores

Para las instancias de 120 actividades el algoritmo en paralelo demuestra el peor rendimiento pues no supera el 4% en los mejores resultados y en los mejores promedios, lo que indica que este algoritmo no es fuerte en instancias grandes. El algoritmo en serie logro alcanzar el 25,67% de los mejores resultados lo que se traduce en que el algoritmo fue eficiente en la cuarta parte de las instancias, a su vez el algoritmo en serie alcanzo el 22,17% de los mejores promedios. Un vez más el algoritmo SerieTabú obtuvo los mejores resultados tanto en mejores promedios como en mejores resultados con aproximadamente un 100% en los dos aspectos.

Con el objetivo de determinar cuál de los algoritmos es el más eficiente se debe realizar un análisis inferencial de acuerdo con la estandarización planeada inicialmente. De las instancias de prueba se resolvieron un total de 1560 que equivalen a 14040 observaciones de las cuales se excluyeron de este análisis todas las que presentan desviación estándar igual a cero, por lo tanto se excluyeron 215 instancias de 30 actividades, 203 instancias de 60 actividades y 15 instancias de 120 actividades (Ver Anexo3. Instancias excluidas del análisis inferencial).

Para establecer si existen diferencias significativas entre los algoritmos se procedió inicialmente con la elaboración de un ANOVA simple para cada uno de los tres grupos de instancias (de 30, 60 y 120 actividades), sin embargo los datos de las observaciones en los

tres casos no cumplieron los supuestos de normalidad, por lo que fue necesario la implementación de la estadística no paramétrica con la prueba de la Mediana de Mood, mediante la cual se evalúa la hipótesis de que las medianas de las muestras son iguales, contando el número de observaciones en cada muestra a cada lado de la mediana global. El resultado obtenido para las instancias de 30 actividades se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Prueba de la Mediana de Mood para instancias de 30 actividades

Algoritmo	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana	95,0% LC inferior	95,0% LC superior
Paralelo	795	21	774	1,33333	1,32145	1,33333
Serie	795	501	294	-0,666667	-0,666667	-0,666667
SerieTabú	795	675	120	-0,666667	-0,666667	-0,666667

Mediana global = -0,63

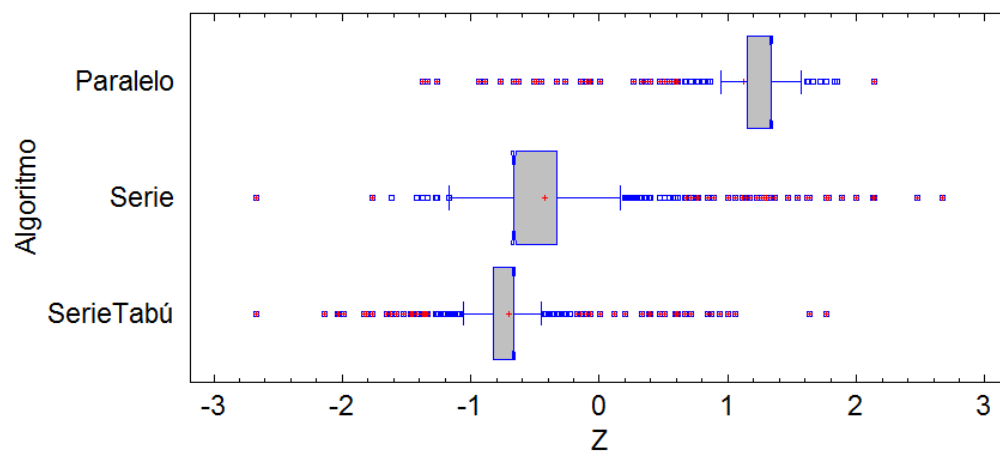
Estadístico = 1154,55

Valor-P = 0,0

Fuente: Autores

El valor-P obtenido de la prueba es de 0.0, lo que permite rechazar la hipótesis con un nivel de confianza del 95% de que las medianas de las muestras son iguales, dado que para que sea aceptada es necesario alcanzar un valor-P superior a 0.05. Ahora bien, para determinar cuál de ellos es el que da mejores resultados en las instancias de 30 actividades, se hizo uso del gráfico de caja y bigotes por nivel del factor algoritmos, el cual se muestra a continuación en la Figura 22.

Figura 22. Diagrama de caja y bigotes del factor algoritmo instancias de 30 actividades

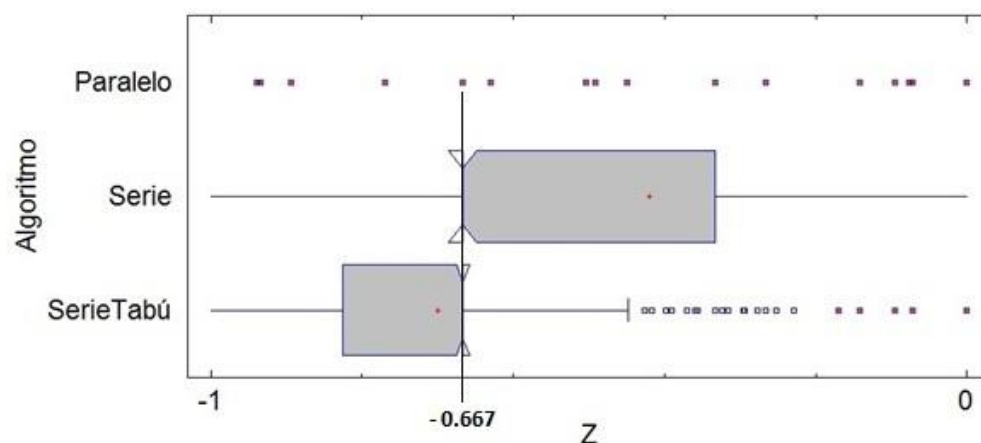


Fuente: Autores

En el gráfico de caja y bigotes, se puede observar la diferencia entre los algoritmos, donde el algoritmo en SerieTabú obtuvo los mejores valores de la función objetivo, aunque con una mayor variabilidad (datos dispersos); el algoritmo en Serie alcanzó buenos resultados no superando al algoritmo en SerieTabú pero si con una menor variabilidad. Respecto al algoritmo en Paralelo, éste logró los peores resultados, cuyos valores de función objetivo resultantes y su variabilidad fueron mayores que en los otros algoritmos. En cuanto a los

algoritmos en SerieTabú y en Serie, cabe indicar que tienen una misma mediana de -0.67, como se puede observar en la Tabla 7 y en un análisis de muescas en el gráfico de caja y bigotes (Figura 22). Por esta razón se puede interpretar que los dos tratamientos no tienen diferencias significativas en cuanto a la solución de las instancias de 30 actividades.

Figura 23. Análisis de muescas en diagrama de caja y bigotes instancias de 30 actividades



Fuente: Autores

El resultado obtenido para las instancias de 60 actividades se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Prueba de la Mediana de Mood para instancias de 60 actividades

Algoritmo	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana	95,0% LC inferior	95,0% LC superior
Paralelo	831	16	815	1,31747	1,29466	1,32866
Serie	831	454	377	-0,609284	-0,650271	-0,530733
SerieTabú	831	777	54	-0,666667	-0,70775	-0,666667

Mediana global = -0,51

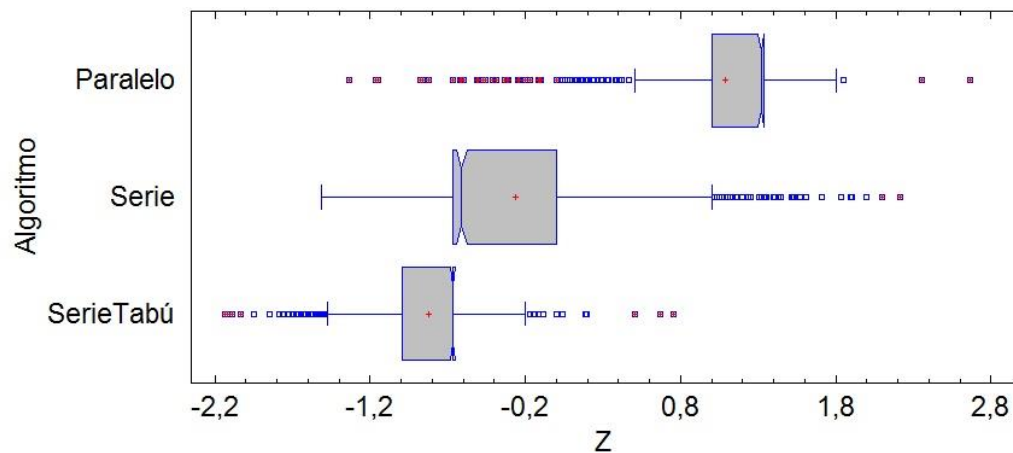
Estadístico = 1404,4

Valor-P = 0,0

Fuente: Autores

El valor-P obtenido de la prueba es de 0.0, lo que permite rechazar la hipótesis con un nivel de confianza del 95% de que las medianas de las muestras son iguales, dado que para que sea aceptada es necesario alcanzar un valor-P superior a 0.05. Ahora bien, para determinar cuál de ellos es el que da mejores resultados en las instancias de 60 actividades, se hizo uso del gráfico de caja y bigotes por nivel del factor algoritmos, el cual se muestra a continuación en la Figura 24.

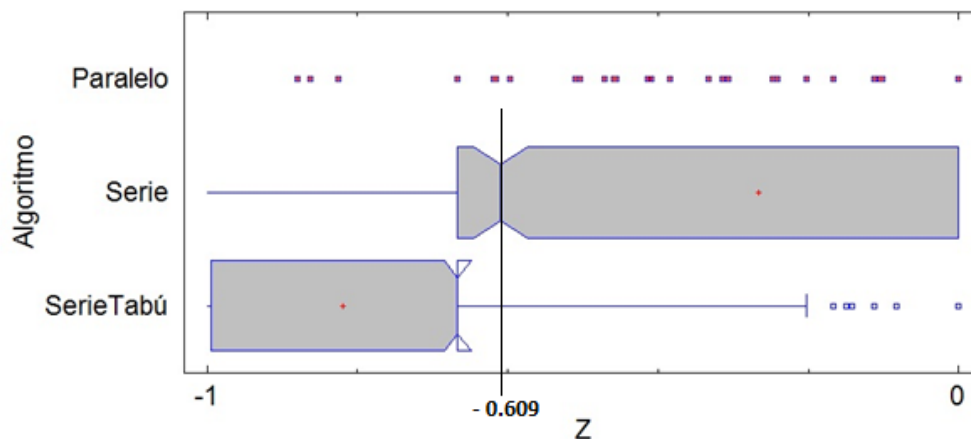
Figura 24. Diagrama de caja y bigotes del factor algoritmo instancias de 60 actividades



Fuente: Autores

En el gráfico de caja y bigotes, se puede observar la diferencia entre los algoritmos, donde el algoritmo en SerieTabú obtuvo los mejores valores de la función objetivo; el algoritmo en Serie alcanzó buenos resultados cercanos al algoritmo en SerieTabú con una menor variabilidad (datos dispersos). En tercer lugar, el algoritmo en Paralelo logró los peores resultados, cuyos valores de función objetivo resultantes y su variabilidad fueron mayores que en los otros algoritmos. En cuanto a los algoritmos en SerieTabú y en Serie, cabe indicar que tienen diferentes medianas, como se puede observar en la Tabla 8 y en un análisis de muescas en el gráfico de caja y bigotes (Figura 25). Esta situación confirma que a un nivel de confianza del 95%, las medianas son significativamente diferentes, incluso para el caso de estos dos algoritmos, en los que se podría llegar a pensar que no hay diferencia.

Figura 25. Análisis de muescas en diagrama de caja y bigotes instancias de 60 actividades



Fuente: Autores

El resultado obtenido para las instancias de 120 actividades se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Prueba de la Mediana de Mood para instancias de 120 actividades

Algoritmo	Tamaño de Muestra	n≤	n>	Mediana	95,0% LC inferior	95,0% LC superior
Paralelo	1755	26	1729	1,24907	1,2316	1,26391
Serie	1755	866	889	-0,358402	-0,39081	-0,334679
SerieTabú	1755	1741	14	-0,872872	-0,888467	-0,855193

Mediana global = -0,37

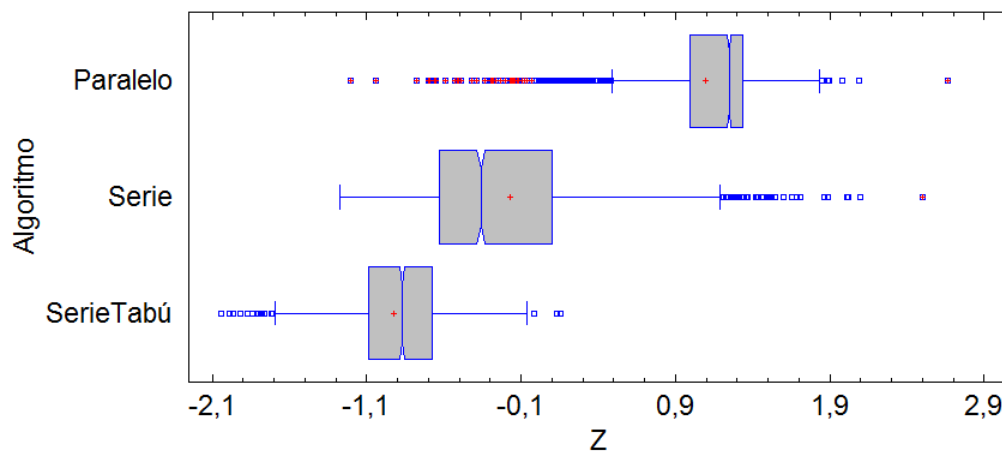
Estadístico = 3352,3

Valor-P = 0,0

Fuente: Autores

El valor-P obtenido de la prueba es de 0.0, lo que permite rechazar la hipótesis con un nivel de confianza del 95% de que las medianas de las muestras son iguales, dado que para que sea aceptada es necesario alcanzar un valor-P superior a 0.05. Ahora bien, para determinar cuál de ellos es el que da mejores resultados en las instancias de 120 actividades, se hizo uso del gráfico de caja y bigotes por nivel del factor algoritmos, el cual se muestra a continuación en la Figura 26.

Figura 26. Diagrama de caja y bigotes del factor algoritmo instancias de 120 actividades

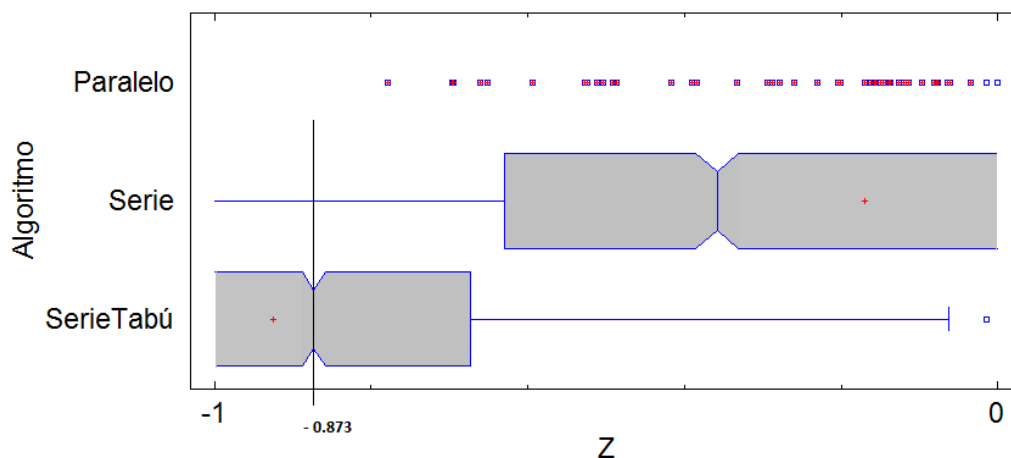


Fuente: Autores

En el gráfico de caja y bigotes, se puede observar la diferencia entre los algoritmos, donde el algoritmo en SerieTabú obtuvo los mejores valores de la función objetivo y con poca variabilidad (datos dispersos); el algoritmo en Serie alcanzó buenos resultados con una menor variabilidad pero no alcanzando los resultados del algoritmo en SerieTabú. En tercer lugar, el algoritmo en Paralelo logró los peores resultados, cuyos valores de función objetivo resultantes y su variabilidad fueron mayores que en los otros algoritmos. En cuanto a los algoritmos en SerieTabú y en Serie, cabe indicar que tienen diferentes medianas, como se puede observar en la Tabla 9 y en un análisis de muescas en el gráfico de caja y bigotes (Figura 27). Esta situación evidencia que a un nivel de confianza del 95%, las

medianas son significativamente diferentes, incluso para el caso de estos dos algoritmos que son muy parecidos.

Figura 27. Análisis de muescas en diagrama de caja y bigotes instancias de 120 actividades



Fuente: Autores

Realizando un análisis de la metaheurística cromática con los tres componentes: en Paralelo, en Serie y en SerieTabú; se ha evidenciado que el más conveniente para ser comparado con los mejores resultados obtenidos en la resolución del RCPSP, es el cromático en SerieTabú. En las instancias de 30 actividades alcanzó las mismas o mejores soluciones en comparación con el cromático en Serie, debido a que en la mayoría de los casos se encontraban los óptimos. En las instancias de 60 actividades comienza a notarse la diferencia entre usar cromático en Serie y en SerieTabú, pues a medida que aumentan el número de actividades del proyecto y su complejidad, más alejados son los resultados entre estos dos componentes, donde el cromático en SerieTabú lleva la ventaja. Para las instancias de 120 actividades se requiere un buen algoritmo para lidiar con la alta complejidad que estas poseen. Entonces como mejor componente de búsqueda sobresalió el cromático en SerieTabú, superando en la mayoría de las ocasiones al cromático en Serie. Con respecto al cromático en Paralelo, sus resultados poco satisfactorios se debieron a que era difícil, para los individuos de la metaheurística cromática, ser soluciones consistentes con el método (estructura) de búsqueda del esquema de secuenciación en Paralelo. Ahora bien, lo que sucede es que aunque el conjunto de soluciones del SSP es mucho menor que el conjunto proveniente de un SSS, estas soluciones tienen una restricción de estructura más dura de superar. Entre tanto, el conjunto resultante del SSS es mucho mayor, es decir, se hace una búsqueda mayor, pero se tiene una mayor libertad en cuanto a la restricción de estructura.

Para un análisis estadístico final del algoritmo cromático en SerieTabú se tomará como variable de interés la distancia (GAP) de la solución obtenida al óptimo (o mejor solución

encontrada). Esta se halla para cada instancia (cabe destacar que no se excluyen instancias) de los tres grupos de la siguiente manera:

$$GAP = \frac{S_0 - \text{óptimo}}{\text{óptimo}}$$

Donde S_0 corresponde a la mejor solución generada por nuestro algoritmo cromático en SerieTabú en cada instancia. La variable “óptimo” es tomada de la librería de PSP¹ y con respecto a ella se efectúa la comparación. Posteriormente a hallar los valores GAP para las instancias de 30, 60 y 120 actividades, respectivamente, en cada grupo se encuentra el promedio de las distancias al óptimo \overline{GAP} . Este procedimiento es el encargado de mostrar la eficiencia de la metaheurística cromática.

Después de calcular todos los GAP's de las instancias de 30, 60 y 120 actividades, a modo de ejemplo se muestra la estructura seguida para el análisis de los gaps de cada una de las instancias, en este caso instancias de 30 actividades.

Tabla 11. Tabla ejemplo de análisis GAP instancias de 30 actividades

Instancia	SerieTabú	El intercambio óptimo sería el de A y B, dando como resultado la siguiente distribución	GAP (%)
J301_1	43	43	0,00%
J301_2	47	47	0,00%
J301_3	47	47	0,00%
J301_4	62	62	0,00%
J301_5	39	39	0,00%
J301_6	48	48	0,00%
J301_7	60	60	0,00%
J301_8	53	53	0,00%
J301_9	49	49	0,00%
J301_10	45	45	0,00%

Fuente: Autores

¹ PSPLIB (PROJECT SCHEDULING PROBLEM LIBRARY) disponible en el link: <http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/> (19/04/2014).

En la primera columna se enuncia la instancia que se resuelve, la segunda columna hace referencia al mejor resultado obtenido por el algoritmo SerieTabú, la tercera columna declara el mejor resultado obtenido en la PSPLIB y la última columna muestra el cálculo del GAP por instancia, dicho cálculo resultado de la resta entre el resultado obtenido por el algoritmo SerieTabú y el mejor resultado reportado luego dividido entre mejor resultado reportado (Para ver las tablas completas remítase al Anexo 4. GAP's por Instancias).

Ahora bien, para el análisis global del algoritmo SerieTabú se utilizará el promedio de los GAP's de todas las instancias por tipo de instancia. A continuación la tabla 12 describe el GAP promedio obtenido por tipo de instancia:

Tabla 12. GAP promedio por tipo de instancia

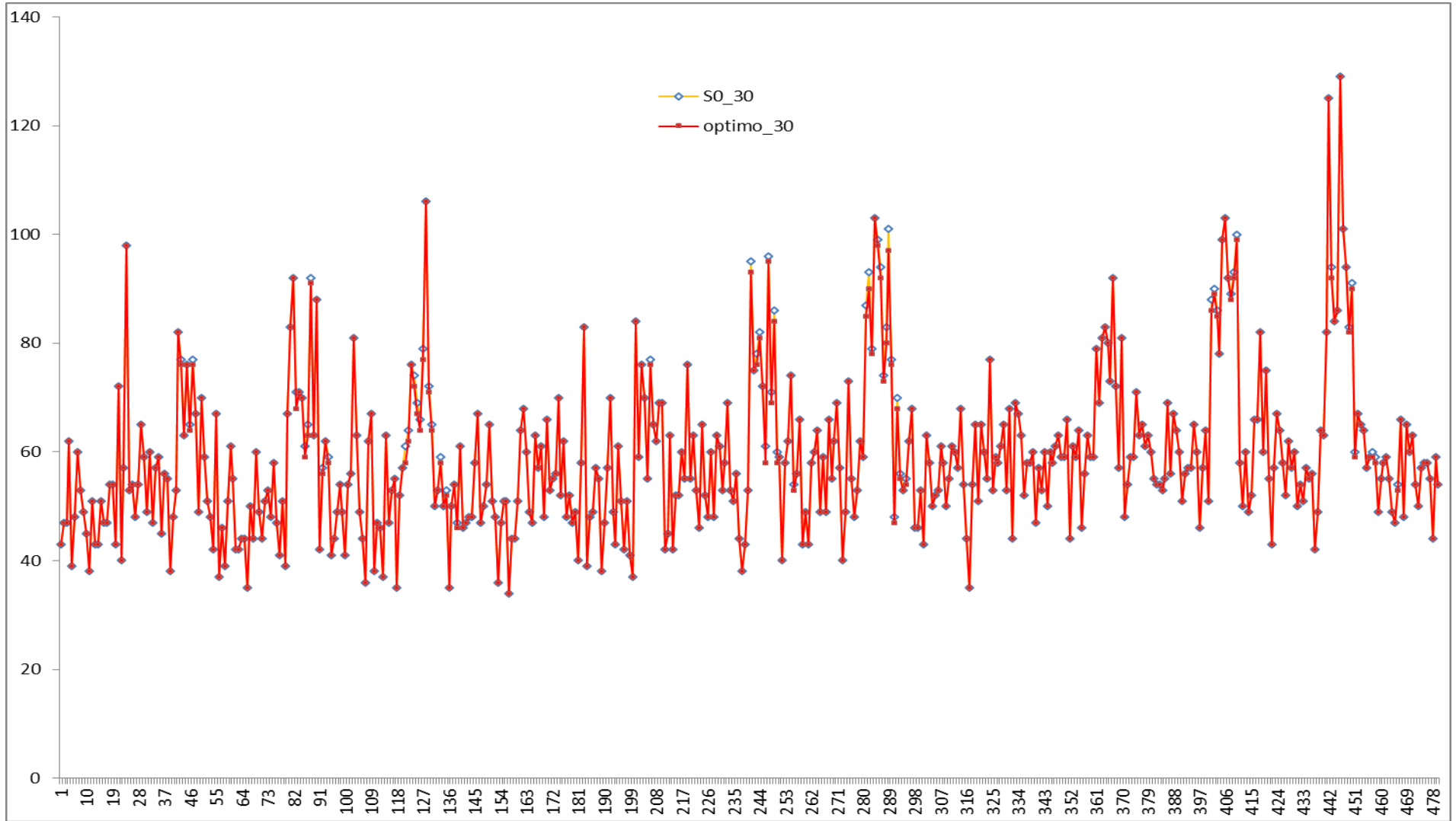
GAP PROMEDIO POR TIPO DE INSTANCIA		
Instancias 30 Actividades	Instancias 60 Actividades	Instancias 120 Actividades
0,25%	1,57%	5,95%

Fuente: Autores

Al hallar los respectivos promedios, se puede concluir que las soluciones de la metaheurística cromática en SerieTabú alcanzo: una distancia media al óptimo de 0,25% para las instancias de 30 actividades con una distancia máxima de 5,17%; una distancia media al óptimo de 1,57% para las instancias de 60 actividades con una distancia máxima de 12,40%; y una distancia media al óptimo de 5,95% para las instancias de 120 actividades con una distancia máxima de 18,71%.

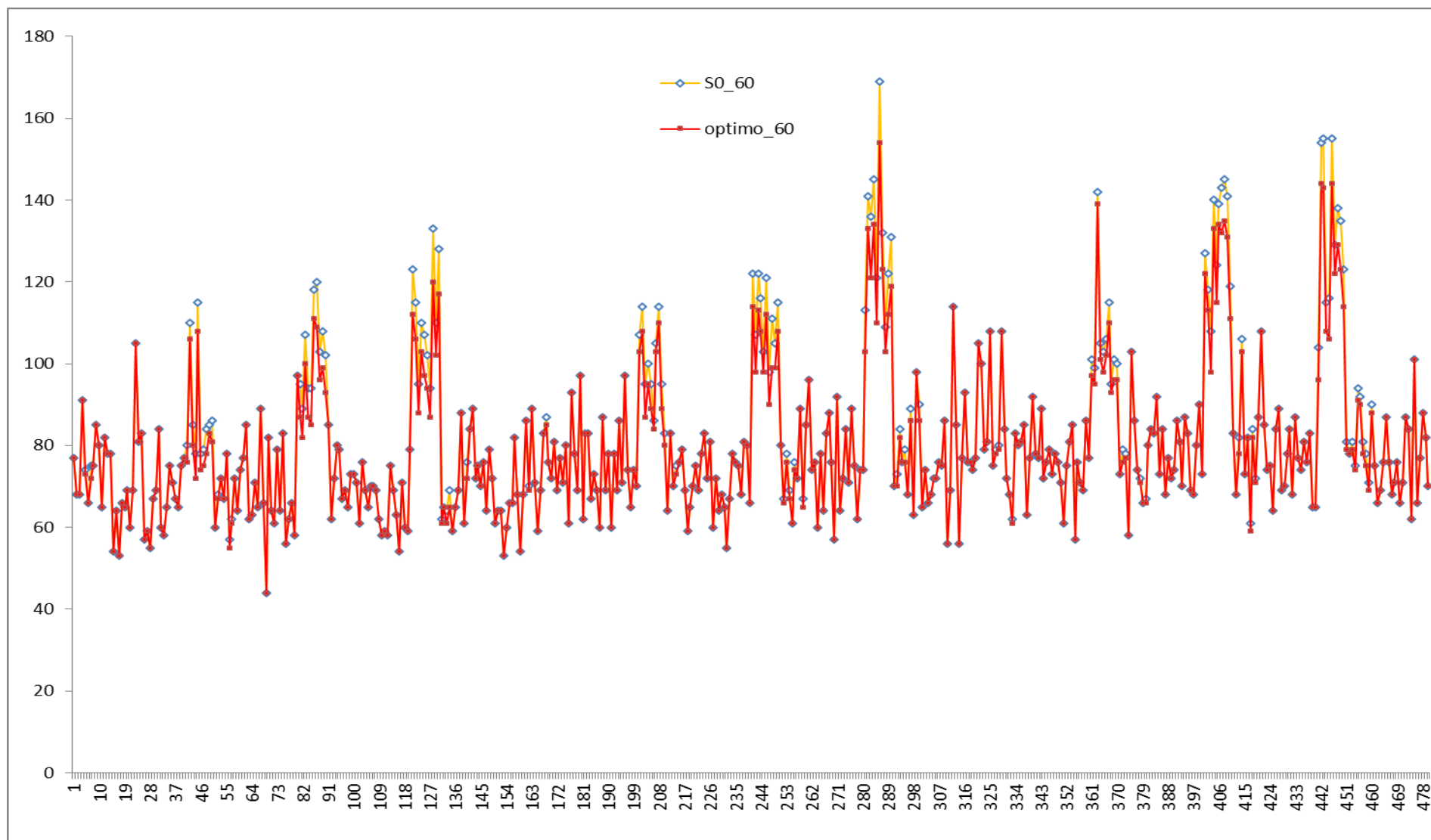
En las figuras 28, 29 y 30 se muestran las soluciones del algoritmo (en color naranja) y los óptimos (en color rojo), de las instancias de 30, 60 y 120 actividades, respectivamente.

Figura 28. Gráfico de soluciones obtenidas vs óptimos instancias de 30 actividades. Los puntos sobre las líneas rojas representan la mejor solución de las instancias de 30 actividades, encontradas en la literatura. Los puntos blancos sobre las líneas naranjas representan las soluciones obtenidas por la metaheurística cromática en las mismas instancias. En este grupo J30 no es mucha la diferencia entre un punto y otro por cada instancia debido a lo proximidad de las soluciones del algoritmo con respecto a los óptimos.



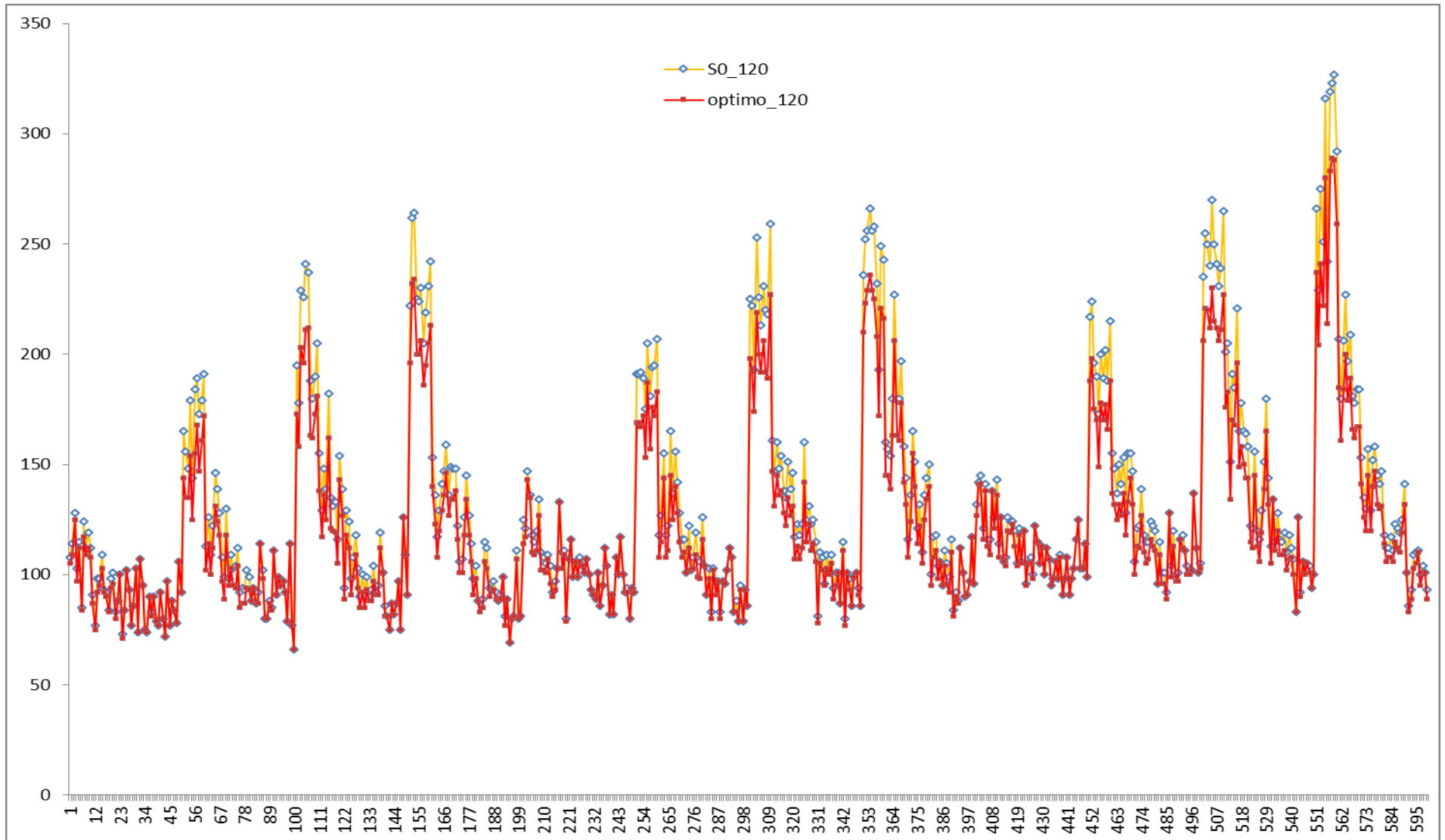
Fuente: Autores

Figura 29. Gráfico de soluciones obtenidas vs óptimos instancias de 60 actividades. Los puntos sobre las líneas rojas representan la mejor solución de las instancias de 60 actividades, encontradas en la literatura. Los puntos blancos sobre las líneas naranjas representan las soluciones obtenidas por la metaheurística cromática en las mismas instancias. En este grupo J60 se nota la diferencia entre un punto y otro para algunas instancias, lo que significa que para varias instancias se alcanzaron soluciones cercanas pero no próximas a los óptimos.



Fuente: Autores

Figura 30. Gráfico de soluciones obtenidas vs óptimos instancias de 120 actividades. Los puntos sobre las líneas rojas representan la mejor solución de las instancias de 120 actividades, encontradas en la literatura. Los puntos blancos sobre las líneas naranjas representan las soluciones obtenidas por la metaheurística cromática en las mismas instancias. En este grupo X120 se nota la diferencia entre un punto y otro para la mayoría de las instancias, lo que significa que para estas instancias se alcanzaron soluciones cercanas pero no próximas a los óptimos.



Fuente: Autores

Con el objetivo de determinar el GAP promedio del algoritmo indistintamente de las instancias de prueba se utilizará un promedio geométrico que permite dar mayor importancia a los valores pequeños y por lo tanto permite un mejor ajuste. Además este tipo promedio no es tan sensible a los datos extremos y con ello facilitar tener una perspectiva más ajustada de los datos.

$$\overline{GAP} = \sqrt[3]{(0,25\% * 1.57\% * 5.95\%)} = 1.3268\%$$

La distancia promedio con respecto al óptimo de todo el algoritmo es de aproximadamente 1.33% lo que sugiere que la metaheurística en SerieTabú ofrece resultados competitivos en este tipo de instancias de prueba.

Por otro lado, para llevar a cabo una comparación de la metaheurística Cromática en SerieTabú en un entorno mundial, donde diferentes autores han encontrado excelentes soluciones con la utilización de toda clase de algoritmos, se hace necesario el cálculo de los GAP's de forma similar a la encontrada en la literatura. Este cálculo consiste en hallar la desviación de las soluciones con respecto a los óptimos de cada una de las instancias de 30 actividades; para las instancias de 60 y 120 actividades, se calcula teniendo en cuenta las cotas inferiores, que corresponden a los tiempos de ejecución en la ruta crítica suponiendo la red sin restricciones de recurso. Procediendo de esta forma se obtienen los siguientes datos que pertenecen al conjunto de 5000 secuencias aproximadamente:

Tabla 13. GAP promedio por tipo de instancia calculado con cotas inferiores

GAP PROMEDIO POR TIPO DE INSTANCIA CALCULADO CON COTAS INFERIORES		
Instancias 30 Actividades	Instancias 60 Actividades	Instancias 120 Actividades
0,25%	12,63%	38,39%

Fuente: Autores

Los presentes resultados ubican nuestra investigación en las siguientes posiciones según las tablas de resultados provistas por Kolisch y Hartmann (Kolisch & Hartmann, 2006).

Tabla 14. Resultados para instancias J30

Algoritmo	SGS	Referencia	Max#Secuencias=5000
			GAP's
GA, TS—path relinking	Both	Kochetov and Stolyar	0.04
GA—hybrid, FBI	Serial	Valls et al.	0.06
GA—forw.-backw., FBI	Both	Alcaraz et al.	0.06
Scatter Search—FBI	Serial	Debels et al.	0.11
GA—forw.-backw.	Serial	Alcaraz and Maroto	0.12
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	0.13
TS—activity list	Serial	Nonobe and Ibaraki	0.16
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	0.16
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	0.17
TS—activity list	Serial	Klein	0.17
GA—FBI	Serial	Valls et al.	0.20
GA—self-adapting	Both	Hartmann	0.22
SA—activity list	Serial	Bouleimen and Lecocq	0.23
GA—activity list	Serial	Hartmann	0.25
M. Cromática	Serial	Hernández and Poveda	0.25
Sampling—random, FBI	Serial	Valls et al.	0.28
GA—late join	Serial	Coelho and Tavares	0.33
Sampling—adaptive	Both	Schirmer	0.44
TS—schedule scheme	Related	Baar et al.	0.44
Sampling—adaptive	Both	Kolisch and Drexl	0.52
Sampling—LFT	Serial	Kolisch	0.53
Sampling—global	Serial	Coelho and Tavares	0.54
GA—random key	Serial	Hartmann	0.56
Sampling—random	Serial	Kolisch	1.00
GA—priority rule	Serial	Hartmann	1.12
Sampling—WCS	Parallel	Kolisch	1.28
Sampling—LFT	Parallel	Kolisch	1.29
Sampling—random	Parallel	Kolisch	1.48
GA—problem space	Mod. par.	Leon and Ramamoorthy	1.59

Fuente: Autores

Tabla 15. Resultados para instancias J60

Algoritmo	SGS	Referencia	Max#Secuencias=5000
			GAP's
Scatter search—FBI	Serial	Debels et al.	11.10
GA—hybrid, FBI	Serial	Valls et al.	11.10
GA, TS—path relinking	Both	Kochetov and Stolyar	11.17
GA—forw.-backw., FBI	Both	Alcaraz et al.	11.19
GA—FBI	Serial	Valls et al.	11.27
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	11.62
GA—self-adapting	Both	Hartmann	11.70
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	11.82
GA—forw.-backw.	Serial	Alcaraz and Maroto	11.86
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	11.87
GA—activity list	Serial	Hartmann	11.89
SA—activity list	Serial	Bouleimen and Lecocq	11.90
TS—activity list	Serial	Klein	12.03
TS—activity list	Serial	Nonobe and Ibaraki	12.18
Sampling—random, FBI	Serial	Valls et al.	12.35
Sampling—adaptive	Both	Schirmer	12.58
GA—late join	Serial	Coelho and Tavares	12.63
M. Cromática	Serial	Hernández and Poveda	12.63
GA—priority rule	Serial	Hartmann	12.74
Sampling—adaptive	Both	Kolisch and Drexl	13.06
Sampling—WCS	Parallel	Kolisch	13.21
Sampling—LFT	Parallel	Kolisch	13.23
Sampling—global	Serial	Coelho and Tavares	13.31
GA—random key	Serial	Hartmann	13.32
TS—schedule scheme	Related	Baar et al.	13.48
GA—problem space	Mod. par.	Leon and Ramamoorthy	13.49
Sampling—LFT	Serial	Kolisch	13.53
Sampling—random	Parallel	Kolisch	14.30
Sampling—random	Serial	Kolisch	15.17

Fuente: Autores

Tabla 16. Resultados para instancias X120

Algoritmo	SGS	Referencia	Max#Secuencias=5000
			GAP's
GA—hybrid, FBI	Serial	Valls et al.	32.54
Scatter Search—FBI	Serial	Debels et al.	33.10
GA—FBI	Serial	Valls et al.	33.24
GA, TS—path relinking	Both	Kochetov and Stolyar	33.36
GA—forw.-backw., FBI	Both	Alcaraz et al.	33.91
Population-based—FBI	Serial	Valls et al.	34.02
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	34.41
GA—self-adapting	Both	Hartmann	35.39
Ant system	Serial	Merkle et al.	35.43
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	35.56
Sampling—LFT, FBI	Both	Tormos and Lova	35.81
GA—forw.-backw.	Serial	Alcaraz and Maroto	36.57
GA—activity list	Serial	Hartmann	36.74
Sampling—random, FBI	Serial	Valls et al.	37.47
SA—activity list	Serial	Bouleimen and Lecocq	37.68
TS—activity list	Serial	Nonobe and Ibaraki	37.88
M. Cromática	Serial	Hernández and Poveda	38.39
GA—late join	Serial	Coelho and Tavares	38.41
GA—priority rule	Serial	Hartmann	38.49
Sampling—adaptive	Both	Schirmer	38.70
Sampling—LFT	Parallel	Kolisch	38.75
Sampling—WCS	Parallel	Kolisch	38.77
Sampling—adaptive	Both	Kolisch and Drexl	40.45
Sampling—global	Serial	Coelho and Tavares	40.46
GA—problem space	Mod. par.	Leon and Ramamoorthy	40.69
Sampling—LFT	Serial	Kolisch	41.84
GA—random key	Serial	Hartmann	42.25
Sampling—random	Parallel	Kolisch	43.05
Sampling—random	Serial	Kolisch	47.61

Fuente: Autores

En la evaluación de soluciones para el RCPSP con el uso de la metaheurística Cromática, en la categoría de proyectos con 30 actividades el algoritmo comparte la posición 16 con el GA del autor Hartmann con un GAP de 0,25%. Para la categoría de proyectos con 60 actividades el algoritmo se ubica en la posición 17 junto al GA-late join de los autores Coelho y Tavares con un GAP de 12,63%, y para la categoría de proyectos con 120 actividades el algoritmo se encuentra en la posición 17 después del TS-activity list de los autores Nonobe y Ibaraki con un GAP de 38,39%.

4.2. Conclusiones y trabajos futuros

Para el desarrollo de la investigación, inicialmente se procede a la recolección de los datos arrojados por la programación de la metaheurística cromática para el RCPSP, compilados y organizados instancia por instancia con cada algoritmo, el número de veces necesaria para su posterior tratamiento estadístico. La comparación de los algoritmos aplicados al problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados, se realizó con el fin de determinar cuál era el mejor en términos de calidad de la solución, tomando en cuenta la minimización de la función objetivo, lo que indica el menor tiempo de ejecución posible del proyecto (problema), considerando el uso de los recursos. Los algoritmos cromático en serie, cromático en paralelo y cromático en SerieTabú fueron los utilizados para el cálculo de las soluciones de las instancias. Luego de haber realizado el respectivo análisis de los resultados se puede afirmar que el algoritmo cromático en SerieTabú ofrece buenas soluciones en el RCPSP, el cual se caracteriza por ofrecer soluciones poco dispersas, evidenciables en el diagrama de Caja y Bigotes (Figura 26). El desempeño de este algoritmo fue superior en todas las instancias alcanzando los óptimos de un 88,33% de las instancias de 30 actividades, un 72,29% de las instancias de 60 actividades y un 28,33% de las instancias de 120 actividades. Los anteriores porcentajes revelan la complejidad de las instancias del RCPSP y las limitaciones que posee el algoritmo cromático en SerieTabú, para llegar a los óptimos. Sin embargo, que no se haya alcanzado la totalidad de las mejores soluciones no significa que nuestros resultados estén muy alejados de éstas. Por esta razón, se prosigue a realizar una comparación más pertinente de las soluciones, calculando la distancia media con respecto a los óptimos (mejores soluciones obtenidas en la literatura) de cada instancia, logrando los siguientes resultados: la distancia media al óptimo para las instancias de 30 actividades fue de 0,25% con una distancia máxima de 5,17% (3 unidades aproximadamente); para las instancias de 60 actividades fue 1,57% con una distancia máxima de 12,40% (15 unidades aproximadamente); y para las instancias de 120 actividades fue 5,95% con una distancia máxima de 18,71% (29 unidades aproximadamente). Con relación a otros algoritmos bastante eficientes de todo el mundo, nuestra investigación se ubica en la posición 17 aproximadamente, en los tres grupos de instancias. Como conclusión final se puede afirmar que no fue posible mejorar, en su totalidad, los resultados obtenidos en el problema de secuenciación de proyectos, por motivo que muchos óptimos se han hallado mediante métodos exactos y la metaheurística no pudo igualarlos. No obstante, queda demostrada la eficiencia de la metaheurística cromática para este tipo de problema de Scheduling, evidenciada en un error promedio que no supera el 6%, que puede ser aceptado por representantes interesados en la administración de proyectos.

Para futuros estudios en el entorno del RCPSP, se invita a la aplicación de un mecanismo que permita enriquecer el algoritmo cromático y logre mayor precisión en cuanto a la búsqueda de óptimos, posibilitando utilizar esta metaheurística mejorada en el MRCPSP (Problema Multimodo de Secuenciación de Proyectos con Recursos Limitados) y expandir aún más la frontera del conocimiento. Como segundo punto, se ofrece completa libertad en la utilización del algoritmo cromático, como base para la creación y la implementación de softwares que permitan la gestión y optimización de los recursos involucrados en proyectos de todo tipo en cualquier sector económico. Y como tercero, se busca motivar el estudio de Scheduling en Colombia, para que posteriormente tenga una actuación en las empresas nacionales, que se verá reflejada en una mayor competitividad.

Siendo congruente con estos propósitos se exponen las siguientes recomendaciones:

Parametrización: En esta investigación se establecieron los niveles de cada parámetro a través de pruebas de ensayo y error. Se recomienda en busca de mejorías en las soluciones utilizar un diseño de experimentos tal como una superficie de respuesta que permita establecer el mejor nivel de cada uno de los cuatro parámetros utilizados por la metaheurística cromática.

Utilización de otras escalas musicales: El algoritmo cromático está inspirado en la escala cromática de las notas musicales, en donde cada nota corresponde a un valor numérico. En este sentido se recomienda la utilización de otras escalas musicales que permitan realizar una búsqueda ordenada de manera diferente, con el objetivo de probar si a través de las otras escalas se pueden obtener mejores resultados que los obtenidos en esta investigación.

Relación del RCPSP con los Problemas de Mochila: El problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados posee afinidad con otros tipos de problema, en este caso se abordó con una modelación específica. Debido al hecho que muchos autores han obtenido buenos resultados partiendo de modelaciones exclusivas del RCPSP, se recomienda intentar modelarlo partiendo de modelaciones de problemas afines como el problema de la mochila, que posiblemente puede ofrecer buenos resultados e incluso mejores resultados que los obtenidos hasta ahora.

Formulación Acotada: EL RCPSP por su complejidad de naturaleza NP-Hard es de difícil resolución a través de métodos exactos, aun así existe en la literatura modelos acotados que permiten trabajar el problema. Todos estos modelos propuestos trabajan con base a un tipo de acotación. Se recomienda entonces que se intente trabajar el problema partiendo de una modelación acotada de manera diferente que supere el rendimiento obtenido por los modelos acotados disponibles en la literatura relacionada con el tema.

Métodos de mejora: En la literatura se encuentra gran variedad de métodos de mejora, en este trabajo no se utilizó ninguno de los métodos existentes. Así pues se recomienda estudiar la posibilidad de inclusión de alguno de los métodos de mejora tal como la justificación, la doble justificación, el método de mejora FBI, entre otros.

Relajación Lagrangiana: La relajación lagrangiana es una técnica de optimización que permite que problemas restringidos puedan con frecuencia ser transformados en problemas irrestringidos con ayuda de los multiplicadores de Lagrange. De esta manera la relajación lagrangiana puede también proveer soluciones aproximadas a difíciles problemas restringidos, por lo tanto se recomienda abordar el problema de RCPSP mediante el uso de esta técnica.

Propuesta de mejor parámetro para medida de eficiencia de la metaheurística: Para medir la eficiencia de la metaheurística y poder comparar con los demás investigadores del tema a nivel mundial, se utilizó la desviación promedio con respecto al tiempo de finalización de la ruta crítica. Este valor, por resultar de un algoritmo estático no es el más indicado para contrastar resultados de un algoritmo dinámico, por lo tanto, se recomienda proponer un mejor parámetro que permita realizar las comparaciones de manera más ajustada y con un menor margen de error.

CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz, J., & Maroto, C. (2001). A Robust Genetic Algorithm for Resource Allocation in Project Scheduling. *Annals of Operations Research* 102, 83-109.
- Alvarez-Valdés, R., & Tamarit, J. M. (1989). Algoritmos heurísticos deterministas y aleatorios en secuenciación de proyectos con recursos limitados. *Qüestió 13* (1,2,3), 173-191.
- Baar, T., Brucker, P., & Knust, S. (1991). Tabu Search Algorithms and Lower Bounds for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem. *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*, 1-18.
- Baeza Yates, R. (2012). Algoritmia. *ASIS&T*. Baltimore.
- Ballesteros, J. (20 de Agosto de 2012). Scheduling, tecnología de producción aplicada. (E. e. Congreso Internacional de Tecnologías para la competitividad global en Gestión, Entrevistador)
- Ballestín, F. (2001). *Nuevos métodos de resolución del problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados*. Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Blazewicz, J., Lenstra, J., & Rinnooy Kan, A. (1983). Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity. *Discrete Applied Mathematics* 5, 11-24.
- Bouleimen, K., & Lecocq, H. (2003). A new efficient simulated annealing algorithm for the resource-constrained project scheduling problem and its multiple modes version. *European Journal of Operational Research* 149, 268–281.
- Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., & Pesch, E. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research* 112, 3-41.
- Brucker, P., Knust, S., Schoo, A., & Thiele, O. (1998). A branch and bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 107, 272-288.
- Cervantes, M. (2010). *Nuevos Métodos Meta Heurístico para la Asignación Eficiente, Optimizada y Robusta de Recursos Limitados*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Christofides, N., Álvarez-Valdés, R., & Tamarit, J. (1987). Project scheduling with resource constraints: A branch and bound approach. *European Journal of Operational Research* 29, 262–273.
- Cipriano, W. M., Mello, H. A., & Qassim, R. Y. (2010). *Problemas de Programación de Proyectos con Restricción de Recursos (RCPSP) para el Montaje de Bloques en la Construcción Naval*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Cortés Achedad, P., & Onieva Giménez, L. (2008). *Ingeniería de organización: Modelos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Demeulemeester, E., & Herroelen, W. (1992). A Branch-and-Bound Procedure for the Multiple Resource-Constrained Project Scheduling Problem. *Management Science* 38 (12), 1803-1818.
- Drexl, A. (1991). Scheduling of project networks by job assignment. *Management Sciences Volume 37 Issue 12*, 1590-1602.
- Drozdek, A. (2007). *Estructura de datos y algoritmos en Java*. Mexico: Thomson Editores S.A.
- Duarte Muños, A., & Pantrigo Fernández, J. (2007). *Metaheurísticas*. Madrid: DYKINSON S.L.
- Garey, M., & Johnson, D. (1979). *Computer and Intractability: A Guide to the Theory NP-Completeness*. New York: W. H. Freeman & Co.
- Glover, F., & Melián, B. (2003). Búsqueda Tabú. Inteligencia Artificial. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 19, 29-48.
- Hartmanis, J., & Stearns, R. e. (1965). On the computational complexity of algorithms. *Transactions of the American Mathematical Society*, 117, 285-306.
- Hartmann, S., & Kolisch, R. (2000). Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 127, 394-407.
- Herroelen, W. (2005). Project Scheduling - Theory and Practice. *Production and Operations Management* 14, 413 – 432.
- Herroelen, W., De Reyck, B., & Demeulemeester, E. (1998). Resource-Constrained Project Scheduling: A Survey Of Recents Developments. *Computers & Operations Research* 25, 279-302.

- Hindi, K. S., Yang, H., & Fleszar, K. (2002). An Evolutionary Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling. *IEEE Transactions ON Evolutionary Computation* 6 (5), 512-518.
- Holland, J. H. (2001). *Adaptation in Natural and Artificial Systems 6th Ed.* Michigan: MIT Press.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220, 671-680.
- Klein, R. (2000). Bidirectional planning: Improving priority rule based heuristics for scheduling resource-constrained projects. *European Journal of Operational Research* 127, 619-638.
- Kolisch, R. (1995). Serial and parallel resource constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. *European Journal of Operational Research* 90, 320-333.
- Kolisch, R., & Hartmann, S. (1999). Heuristic Algorithms for Solving the Resource-Constrained Project Scheduling Problem: Classification and Computational Analysis. En R. Kolisch, & S. Hartmann, *Handbook of Recent Advances in Project Scheduling* (págs. 147-178). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Kolisch, R., & Hartmann, S. (2006). Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update. *European Journal of Operational Research* 174, 23-37.
- Ladner, R. E. (1975). On the structure of polynomial time reducibility. *Journal ACM* 22, 151-171.
- Martín Quetglás, G., Toledo Lobo, F., & Cerverón Lleó, V. (1995). *Fundamentos de Informática y Programación*. Valencia: Laboratorio Integrado de Sistemas Inteligentes y Tecnológicos de la Información en Transporte.
- Melián, B., Moreno, J., & Moreno, J. (2003). Metaheuristics a global view. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial* 19, 7-28.
- Mingozzi, A., Maniezzo, V., Ricciardelli, S., & Bianco, L. (1998). An Exact Algorithm for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem Based on a New Mathematical Formulation. *Management Science* 44 (5), 714-729.
- Moreno, L. F. (2005). *Desarrollo de una herramienta analítica-heurística para resolver el problema de la programación de tareas (scheduling)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

- Naphade, K., Wu, S., & Storer, R. (1997). Problem space search algorithms for resource-constrained project scheduling. *Annals of Operations Research* 70, 307-326.
- Nonobe, K., & Ibaraki, T. (2002). Formulation and tabu search algorithm for the resource constrained project scheduling problem. En *Essays and Surveys in Metaheuristics*, C.C. Ribeiro, P. Hansen (Eds.) (págs. 557–588). Kluwer Academic Publishers.
- Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. New York: Springer Science+ Business Media, LLC.
- Pritsker, A., Watters, L., & Wolfe, P. (1969). Multiproject scheduling with limited resources: A zero-One programming approach. *Management Science* 16, 93-107.
- Rivera, J. C., Moreno, L. F., Díaz, F. J., & Peña, G. E. (2006). Un heurístico para planeación de proyectos con restricción de recursos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* 1 (6), 120-125.
- Sabie, R., & Mestra, A. (2011). *Cromático. Un nuevo método de optimización que se fundamenta a través de un algoritmo de búsqueda basado en la escala cromática de las notas musicales*. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Talbot, F., & Patterson, J. (1978). An Efficient Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving Resource-Constrained Scheduling Problems. *Management Science* 24, 1163-1174.
- Tchomte, S., Gourgand, M., & Quilliot, A. (2007). Solving resource-constrained project scheduling problema with particle swarm optimization. *Proceedings of fourth multidisciplinary international scheduling conference*, 251–258.
- Tormos, P., & Lova, A. (2001). A competitive heuristic solution technique for resource constrained project scheduling. *Annals of Operations Research* 102, 65–81.
- V, L., & Sen, S. (2005). *Computational Error and Complexity in Science and Engineering*. ELSEVIER B.V.: San Diego.
- Valls, V., Ballestín, F., & Quintanilla, M. S. (2003). A hybrid genetic algorithm for the RCPSP. *Technical Report Department of Statistics and Operations Research, University of Valencia*.
- Vancells Flotats, J. (2002). *Algoritmos y Programas*. Catalunya: UOC/Digitalia.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1992). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

CAPÍTULO 6: ANEXOS

ANEXO 1. Determinación del tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra en el análisis, es decir, para calcular el número de veces que tendría que ser ejecutada cada instancia en cada uno de los algoritmos propuestos, fue necesario utilizar un método de muestreo en base a las curvas de potencia o curvas de operación característica de Montgomery (2004).

El método escogido consiste en determinar un número de réplicas que permita generar un alto grado de potencia para el diseño experimental, y así garantizar una mayor confiabilidad al estudio realizado. Dicha confiabilidad asegura que el diseño sea sensible a diferencias potenciales importantes entre los tratamientos utilizados (Montgomery, 2004). La ecuación utilizada es:

$$\Phi^2 = \frac{n * D^2}{2 * \alpha * \sigma^2}$$

Donde:

α : Número de niveles del factor estudiado, es decir, el número de algoritmos a comparar.

D : variación de la variable de respuesta en la cual, a partir de la n réplicas, se considera que habrá diferencias significativas. Por tanto se estableció que a partir del 5% del valor de la media ($0,05\bar{x}$), se considerarían diferencias significativas.

σ^2 : Representa una estimación de la varianza.

Con el fin de ejecutar un diseño experimental que conlleve a la determinación de cuál de los tres (3) algoritmos es mejor, se realizan 30 corridas de prueba en una instancia de tamaño de 120 actividades de cada uno de ellos, con lo cual se infiere la varianza natural de la población. Se escogió al azar la instancia X2_9, los resultados encontrados están tabulados en la siguiente tabla:

Algoritmo Paralelo		Algoritmo Serie		Algoritmo SerieTabú	
\bar{x}	113,5	\bar{x}	102,3	\bar{x}	100,66
s^2	0,3275	s^2	2,0793	s^2	1,3333

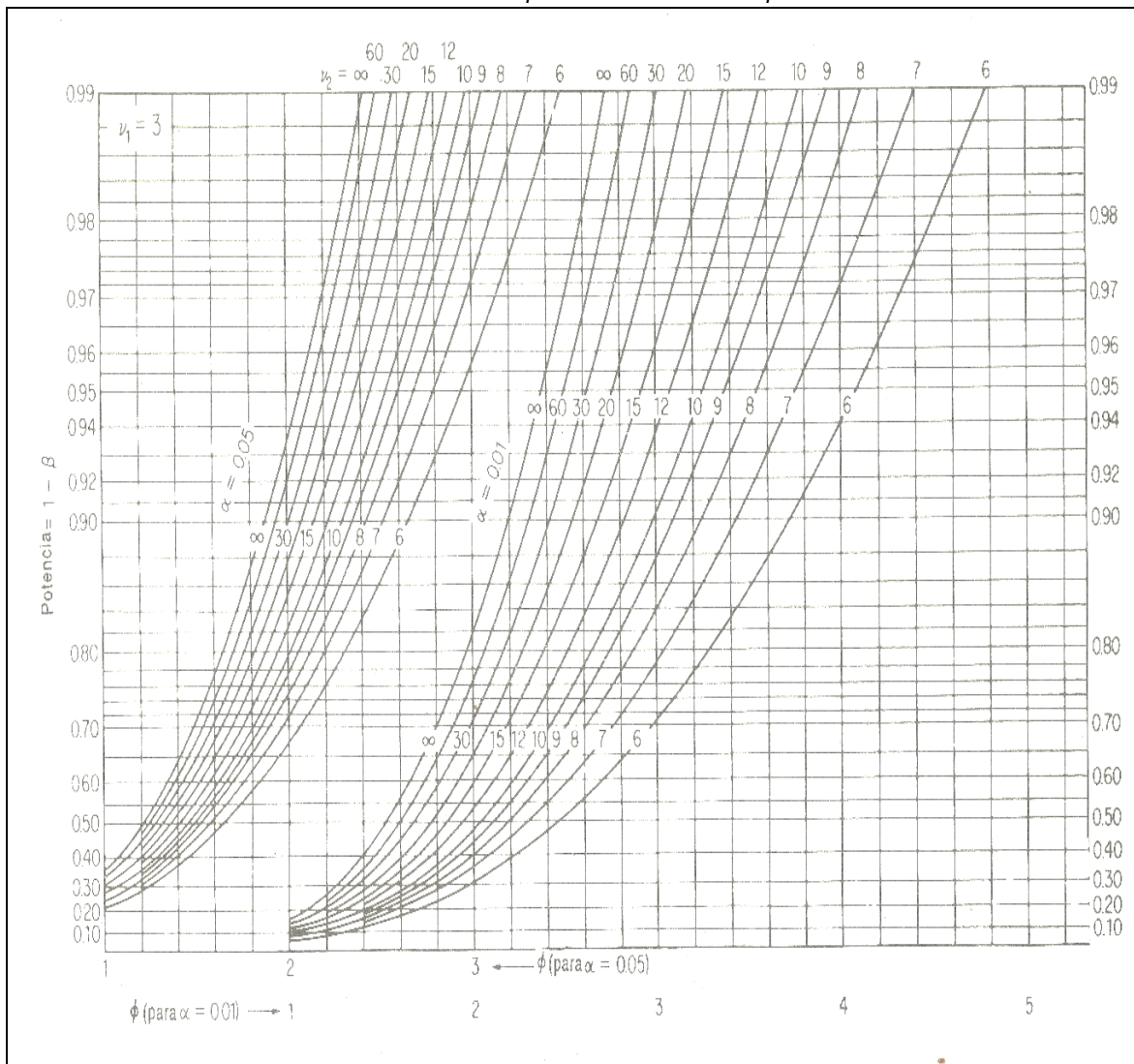
En los resultados se encontró, que el Algoritmo Serie obtuvo la varianza más grande ($s^2 = 2,0793$) por lo cual se selecciona bajo el supuesto de que las varianzas de los otros algoritmos están contenidas en ella.

A continuación se determina la ecuación que describe el comportamiento de Φ^2 al sustituir los valores n:

$$\Phi^2 = \frac{n * D^2}{2 * a * \sigma^2} = \frac{n * (0,05 * 105,489)^2}{2(3)(2,0793)} = 2,23n$$

Luego, para cada valor de n, mediante el uso del Gráfico de Curvas de Operación Característica para $V_1=4$ (Figura 27).

Tabla 17. Curvas de operación característica para $V_1=2$



Fuente: (Walpole, Myers, & Myers, 1992)

En la siguiente tabla, se muestran las potencias alcanzadas para diferentes valores de n ; partiendo de $n=1$, teniendo en cuenta que los valores calculados de ϕ eran inferiores a 1, cifra que se encuentra por fuera del gráfico de Curvas de Operación (Ver Figura 4).

n	Φ^2	Φ	$V1$	$a(n-1)$	β	$1-\beta$
1	2,230	1,49	2	0	43%	57,00%
2	4,460	2,11	2	3	29,3%	70,70%
3	6,690	2,59	2	6	2,10%	97,90%

Como se puede observar en $n=3$ se obtiene una potencia de aproximadamente al 98%, es decir, realizando 3 réplicas de cada algoritmo propuesto se puede obtener la confiabilidad y sensibilidad deseadas del estudio.

ANEXO 2. Estadísticos por instancias

Instancias de 30 Actividades

Instancia	Algoritmo								
	Paralelo			Serie			SerieTabú		
	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar
J301_1	53	53	0	43	43	0	43	43	0
J301_2	54	54	0	47	47	0	47	47	0
J301_3	53	53	0	47	47	0	47	47	0
J301_4	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J301_5	40	40	0	39	39	0	39,666	39	0,577
J301_6	49	49	0	48	48	0	48	48	0
J301_7	64	64	0	60	60	0	60	60	0
J301_8	66	66	0	53	53	0	53	53	0
J301_9	52	52	0	49,666	49	0,577	50	50	0
J301_10	47	47	0	45	45	0	45	45	0
J302_1	38	38	0	38	38	0	38	38	0
J302_2	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J302_3	43	43	0	43	43	0	43	43	0
J302_4	43	43	0	43	43	0	43	43	0
J302_5	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J302_6	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J302_7	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J302_8	55	55	0	54	54	0	54	54	0
J302_9	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J302_10	43	43	0	43	43	0	43	43	0
J303_1	77	77	0	72	72	0	72	72	0
J303_2	40	40	0	40	40	0	40	40	0
J303_3	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J303_4	98	98	0	98	98	0	98	98	0
J303_5	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J303_6	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J303_7	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J303_8	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J303_9	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J303_10	60	60	0	59	59	0	59	59	0
J304_1	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J304_2	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J304_3	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J304_4	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J304_5	59	59	0	59	59	0	59	59	0

J304_6	45	45	0	45	45	0	45	45	0
J304_7	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J304_8	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J304_9	38	38	0	38	38	0	38	38	0
J304_10	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J305_1	61	61	0	53,666	53	0,577	53	53	0
J305_2	85	85	0	82	82	0	82	82	0
J305_3	81	81	0	79	77	1,732	78,333	78	0,577
J305_4	66	66	0	63,333	63	0,577	63	63	0
J305_5	90	90	0	76	76	0	76	76	0
J305_6	71	71	0	66,333	65	1,527	65,333	65	0,577
J305_7	78	78	0	78,666	77	2,081	77,666	77	0,577
J305_8	71	71	0	67	67	0	67,333	67	0,577
J305_9	53	53	0	49,666	49	0,577	50	50	0
J305_10	71	71	0	71,333	70	1,527	70,666	70	1,154
J306_1	61	61	0	59	59	0	59	59	0
J306_2	56	56	0	52	52	0	51,333	51	0,577
J306_3	51	51	0	48	48	0	48	48	0
J306_4	45	45	0	42	42	0	42	42	0
J306_5	68	68	0	67	67	0	67	67	0
J306_6	42	42	0	37	37	0	37	37	0
J306_7	52	52	0	46	46	0	46	46	0
J306_8	40	40	0	39	39	0	39	39	0
J306_9	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J306_10	66	66	0	64	64	0	61,333	61	0,577
J307_1	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J307_2	42	42	0	42	42	0	42	42	0
J307_3	42	42	0	42	42	0	42	42	0
J307_4	49	49	0	44	44	0	44	44	0
J307_5	45	45	0	44	44	0	44,666	44	0,577
J307_6	35	35	0	35	35	0	35	35	0
J307_7	52	52	0	50	50	0	50	50	0
J307_8	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J307_9	65	65	0	60	60	0	60	60	0
J307_10	54	54	0	49	49	0	49	49	0
J308_1	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J308_2	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J308_3	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J308_4	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J308_5	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J308_6	47	47	0	47	47	0	47	47	0

J308_7	41	41	0	41	41	0	41	41	0
J308_8	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J308_9	39	39	0	39	39	0	39	39	0
J308_10	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J309_1	89	89	0	83,333	83	0,577	83,333	83	0,577
J309_2	94	94	0	93,333	92	1,154	94	94	0
J309_3	82,666	82	1,154	75	74	1,732	71,333	71	0,577
J309_4	77	77	0	74,333	74	0,577	71,666	71	0,577
J309_5	75	75	0	70	70	0	70	70	0
J309_6	65,666	65	0,577	64	63	1	61	61	0
J309_7	69,666	69	0,577	67	67	0	65,666	65	0,577
J309_8	105	105	0	92	92	0	92	92	0
J309_9	66	66	0	65,333	65	0,577	64,333	63	1,527
J309_10	102	102	0	90,333	88	2,516	88	88	0
J3010_1	43,333	43	0,577	42	42	0	42	42	0
J3010_2	58,666	58	0,577	57,666	57	0,577	57	57	0
J3010_3	63	63	0	63	63	0	62,666	62	0,577
J3010_4	63,333	63	0,577	59	59	0	59	59	0
J3010_5	44	44	0	42	42	0	41	41	0
J3010_6	46	46	0	45,666	45	0,577	44,666	44	0,577
J3010_7	50	50	0	49	49	0	49	49	0
J3010_8	56	56	0	54,666	54	0,577	54	54	0
J3010_9	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J3010_10	42,333	42	0,577	42	42	0	41	41	0
J3011_1	56	56	0	55	55	0	54,666	54	0,577
J3011_2	60	60	0	56	56	0	56,333	56	0,577
J3011_3	82	82	0	81	81	0	81	81	0
J3011_4	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3011_5	53	53	0	49,666	49	0,577	49,333	49	0,577
J3011_6	45	45	0	44	44	0	44	44	0
J3011_7	37	37	0	37	37	0	36,666	36	0,577
J3011_8	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J3011_9	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J3011_10	40	40	0	38	38	0	38	38	0
J3012_1	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3012_2	46	46	0	46	46	0	46	46	0
J3012_3	37	37	0	37	37	0	37	37	0
J3012_4	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3012_5	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3012_6	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3012_7	55	55	0	55	55	0	55	55	0

J3012_8	35	35	0	35	35	0	35	35	0
J3012_9	52	52	0	52	52	0	52	52	0
J3012_10	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3013_1	65,333	65	0,577	61,666	61	0,577	62	62	0
J3013_2	65	64	1	67	67	0	64,666	64	0,577
J3013_3	80	79	1	79,666	79	1,154	77,666	76	1,527
J3013_4	80,333	80	0,577	75	74	1	74	74	0
J3013_5	73,333	73	0,577	72,666	72	0,577	69,666	69	1,154
J3013_6	68,666	68	0,577	67,333	67	0,577	66	66	0
J3013_7	84,333	84	0,577	80,666	80	1,154	79,666	79	0,577
J3013_8	116	116	0	110,333	109	1,154	107	106	1
J3013_9	74	74	0	73,333	72	1,527	72	72	0
J3013_10	77,333	77	0,577	66	66	0	65	65	0
J3014_1	51	51	0	50,666	50	0,577	50	50	0
J3014_2	54	54	0	54,666	54	1,154	54	53	1
J3014_3	63	63	0	60	59	1	60	60	0
J3014_4	52	52	0	50,666	50	0,577	50	50	0
J3014_5	63	63	0	53	53	0	53	53	0
J3014_6	39	39	0	36,666	36	0,577	35,333	35	0,577
J3014_7	56	56	0	52,666	52	0,577	50	50	0
J3014_8	57	57	0	54	54	0	54	54	0
J3014_9	50	50	0	48	48	0	47,333	47	0,577
J3014_10	63	63	0	61	61	0	61	61	0
J3015_1	46	46	0	46	46	0	46	46	0
J3015_2	48	48	0	47	47	0	47	47	0
J3015_3	49	49	0	48	48	0	48	48	0
J3015_4	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J3015_5	61,666	61	0,577	60,666	60	0,577	58,666	58	0,577
J3015_6	70	70	0	67	67	0	67	67	0
J3015_7	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3015_8	52	52	0	50	50	0	50	50	0
J3015_9	54,666	54	0,577	54	54	0	54	54	0
J3015_10	67	67	0	65	65	0	65	65	0
J3016_1	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3016_2	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J3016_3	36	36	0	36	36	0	36	36	0
J3016_4	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3016_5	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3016_6	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3016_7	34	34	0	34	34	0	34	34	0
J3016_8	44	44	0	44	44	0	44	44	0

J3016_9	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J3016_10	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3017_1	66	66	0	64	64	0	64,666	64	1,154
J3017_2	69	69	0	68	68	0	68	68	0
J3017_3	64	64	0	60	60	0	60	60	0
J3017_4	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J3017_5	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3017_6	72	72	0	63	63	0	63	63	0
J3017_7	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3017_8	62	62	0	61	61	0	61	61	0
J3017_9	50	50	0	48	48	0	48	48	0
J3017_10	75	75	0	66	66	0	66	66	0
J3018_1	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3018_2	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3018_3	59	59	0	56	56	0	56	56	0
J3018_4	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J3018_5	52	52	0	52	52	0	52	52	0
J3018_6	65	65	0	62	62	0	62	62	0
J3018_7	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J3018_8	52	52	0	52	52	0	52	52	0
J3018_9	50	50	0	47	47	0	47	47	0
J3018_10	52	52	0	49	49	0	49	49	0
J3019_1	40	40	0	40	40	0	40	40	0
J3019_2	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3019_3	91	91	0	83	83	0	83	83	0
J3019_4	39	39	0	39	39	0	39	39	0
J3019_5	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J3019_6	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J3019_7	58	58	0	57	57	0	57	57	0
J3019_8	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3019_9	39	39	0	38	38	0	38	38	0
J3019_10	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3020_1	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3020_2	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J3020_3	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J3020_4	43	43	0	43	43	0	43	43	0
J3020_5	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J3020_6	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3020_7	42	42	0	42	42	0	42	42	0
J3020_8	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3020_9	41	41	0	41	41	0	41	41	0

J3020_10	37	37	0	37	37	0	37	37	0
J3021_1	86	86	0	84,333	84	0,577	84,333	84	0,577
J3021_2	64	64	0	60,333	59	1,154	59	59	0
J3021_3	78	78	0	76	76	0	76	76	0
J3021_4	76	76	0	70	70	0	70	70	0
J3021_5	60	60	0	57	57	0	55,666	55	1,154
J3021_6	80	80	0	77	77	0	77	77	0
J3021_7	70	70	0	66,333	65	2,309	66,333	65	2,309
J3021_8	65	65	0	64,666	64	0,577	62,666	62	0,577
J3021_9	79	79	0	69	69	0	69	69	0
J3021_10	69	69	0	71,333	71	0,577	69,666	69	0,577
J3022_1	48	48	0	42	42	0	42	42	0
J3022_2	57	57	0	45	45	0	45	45	0
J3022_3	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3022_4	44	44	0	42	42	0	42	42	0
J3022_5	52	52	0	52	52	0	52	52	0
J3022_6	56	56	0	52	52	0	52	52	0
J3022_7	67	67	0	60	60	0	60	60	0
J3022_8	56	56	0	55,666	55	0,577	55,333	55	0,577
J3022_9	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J3022_10	56	56	0	55	55	0	55	55	0
J3023_1	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3023_2	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3023_3	46	46	0	46	46	0	46	46	0
J3023_4	67	67	0	65	65	0	65	65	0
J3023_5	52	52	0	52	52	0	52	52	0
J3023_6	57	57	0	48	48	0	48	48	0
J3023_7	65	65	0	60	60	0	60	60	0
J3023_8	54	54	0	48	48	0	48	48	0
J3023_9	65	65	0	63	63	0	63	63	0
J3023_10	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J3024_1	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3024_2	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3024_3	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J3024_4	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3024_5	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3024_6	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J3024_7	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J3024_8	38	38	0	38	38	0	38	38	0
J3024_9	43	43	0	43	43	0	43	43	0
J3024_10	53	53	0	53	53	0	53	53	0

J3025_1	102	102	0	96,333	95	1,527	95,666	95	0,577
J3025_2	81	81	0	77	76	1	76	75	1
J3025_3	84,666	84	0,577	81	80	1	78,333	78	0,577
J3025_4	85	85	0	86,333	86	0,577	84	82	2
J3025_5	81	81	0	73,333	73	0,577	72,333	72	0,577
J3025_6	63,333	63	0,577	62,333	61	1,527	61	61	0
J3025_7	99	99	0	97,333	97	0,577	97	96	1
J3025_8	72	72	0	71,666	71	1,154	71,333	71	0,577
J3025_9	89	89	0	87	86	1	86,666	86	1,154
J3025_10	70	70	0	60,333	60	0,577	60	60	0
J3026_1	63	63	0	59	59	0	59	59	0
J3026_2	40	40	0	40	40	0	40	40	0
J3026_3	59	59	0	58	58	0	58	58	0
J3026_4	65	65	0	62	62	0	62	62	0
J3026_5	76	76	0	74	74	0	74	74	0
J3026_6	62	62	0	54	54	0	54	54	0
J3026_7	58	58	0	56	56	0	56	56	0
J3026_8	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J3026_9	46	46	0	44	44	0	43,666	43	0,577
J3026_10	54	54	0	49	49	0	49	49	0
J3027_1	45	45	0	43	43	0	43	43	0
J3027_2	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3027_3	62	62	0	60	60	0	60	60	0
J3027_4	69	69	0	64	64	0	64	64	0
J3027_5	50	50	0	49	49	0	49	49	0
J3027_6	65	65	0	59	59	0	59	59	0
J3027_7	50	50	0	49	49	0	49	49	0
J3027_8	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J3027_9	57	57	0	55	55	0	55	55	0
J3027_10	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J3028_1	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J3028_2	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3028_3	40	40	0	40	40	0	40	40	0
J3028_4	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J3028_5	73	73	0	73	73	0	73	73	0
J3028_6	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3028_7	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J3028_8	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3028_9	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J3028_10	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3029_1	95,333	95	0,577	91	91	0	88,333	87	1,154

J3029_2	94	93	1	95,666	95	0,577	94	93	1
J3029_3	84	84	0	80,333	80	0,577	79,333	79	0,577
J3029_4	106	106	0	106,333	106	0,577	103,666	103	0,577
J3029_5	107,333	107	0,577	102	101	1,732	100	99	1,732
J3029_6	94	94	0	95	94	1	94,666	94	1,154
J3029_7	74	74	0	75,333	74	1,154	74,666	74	0,577
J3029_8	91	90	1	84,666	84	1,154	84	83	1
J3029_9	111	111	0	102,333	101	1,527	102,333	102	0,577
J3029_10	85	85	0	77,666	77	0,577	77	77	0
J3030_1	48	48	0	48,333	48	0,577	48,333	48	0,577
J3030_2	73	73	0	71	71	0	70,333	70	0,577
J3030_3	56,666	56	0,577	56,333	56	0,577	56	56	0
J3030_4	54,333	54	0,577	54	54	0	53	53	0
J3030_5	64	64	0	55	55	0	55	55	0
J3030_6	63	63	0	64	63	1	62	62	0
J3030_7	73,333	73	0,577	69,333	68	1,527	69	69	0
J3030_8	46	46	0	46	46	0	46	46	0
J3030_9	48	48	0	47	47	0	46	46	0
J3030_10	54	54	0	53,666	53	0,577	53	53	0
J3031_1	43	43	0	43	43	0	43	43	0
J3031_2	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3031_3	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3031_4	50	50	0	50	50	0	50	50	0
J3031_5	58	58	0	54	54	0	52,333	52	0,577
J3031_6	56	56	0	53	53	0	53	53	0
J3031_7	64	64	0	61	61	0	61	61	0
J3031_8	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3031_9	54	54	0	51	51	0	50,333	50	0,577
J3031_10	58	58	0	55,666	55	0,577	55	55	0
J3032_1	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J3032_2	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J3032_3	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3032_4	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J3032_5	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J3032_6	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J3032_7	35	35	0	35	35	0	35	35	0
J3032_8	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J3032_9	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J3032_10	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3033_1	74	74	0	65	65	0	65	65	0
J3033_2	62	62	0	60	60	0	60	60	0

J3033_3	58	58	0	55	55	0	55	55	0
J3033_4	82	82	0	77	77	0	77	77	0
J3033_5	54	54	0	53	53	0	53	53	0
J3033_6	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3033_7	60	60	0	58	58	0	58	58	0
J3033_8	62	62	0	61	61	0	61	61	0
J3033_9	68	68	0	66,333	65	1,154	65	65	0
J3033_10	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3034_1	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J3034_2	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J3034_3	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J3034_4	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J3034_5	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3034_6	56	56	0	52	52	0	52	52	0
J3034_7	62	62	0	58	58	0	58	58	0
J3034_8	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3034_9	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J3034_10	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3035_1	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3035_2	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3035_3	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J3035_4	51	51	0	50	50	0	50	50	0
J3035_5	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J3035_6	60	60	0	58	58	0	58	58	0
J3035_7	63	63	0	61	61	0	61	61	0
J3035_8	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3035_9	65	65	0	59	59	0	59	59	0
J3035_10	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3036_1	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J3036_2	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J3036_3	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J3036_4	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3036_5	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J3036_6	46	46	0	46	46	0	46	46	0
J3036_7	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J3036_8	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3036_9	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3036_10	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3037_1	80	80	0	79,666	79	0,577	79,666	79	0,577
J3037_2	71	71	0	69,666	69	0,577	69	69	0
J3037_3	86	86	0	81	81	0	81	81	0

J3037_4	89	89	0	83	83	0	83	83	0
J3037_5	86	86	0	80,666	80	0,577	80	80	0
J3037_6	85	85	0	73	73	0	73	73	0
J3037_7	100	100	0	92	92	0	92	92	0
J3037_8	79	79	0	72	72	0	72	72	0
J3037_9	62	62	0	57	57	0	57	57	0
J3037_10	83	83	0	81,333	81	0,577	81	81	0
J3038_1	52	52	0	48	48	0	48	48	0
J3038_2	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J3038_3	60	60	0	59,333	59	0,577	59	59	0
J3038_4	61	61	0	59	59	0	59	59	0
J3038_5	72	72	0	71	71	0	71,333	71	0,577
J3038_6	66	66	0	63	63	0	63	63	0
J3038_7	68	68	0	65	65	0	65	65	0
J3038_8	63	63	0	61	61	0	62	61	1
J3038_9	65	65	0	63	63	0	63	63	0
J3038_10	63	63	0	60	60	0	60	60	0
J3039_1	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3039_2	56	56	0	54	54	0	54	54	0
J3039_3	55	55	0	54	54	0	54	54	0
J3039_4	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J3039_5	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3039_6	70	70	0	69	69	0	69	69	0
J3039_7	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J3039_8	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J3039_9	65	65	0	64	64	0	64	64	0
J3039_10	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J3040_1	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3040_2	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J3040_3	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3040_4	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3040_5	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J3040_6	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J3040_7	46	46	0	46	46	0	46	46	0
J3040_8	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3040_9	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J3040_10	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3041_1	94	94	0	88	88	0	88	88	0
J3041_2	93,333	93	0,577	91	91	0	90,333	90	0,577
J3041_3	100	100	0	86	86	0	86	86	0
J3041_4	82	82	0	79,666	79	1,154	78,333	78	0,577

J3041_5	106	106	0	100,666	100	1,154	99	99	0
J3041_6	107,333	107	0,577	103,333	103	0,577	103,333	103	0,577
J3041_7	92	92	0	95	93	1,732	93,666	93	1,154
J3041_8	89	89	0	91	90	1,732	90,666	90	0,577
J3041_9	111	111	0	96,333	95	1,154	93,333	93	0,577
J3041_10	106	106	0	100,333	100	0,577	100	100	0
J3042_1	60,666	60	0,577	58	58	0	58	58	0
J3042_2	51	51	0	50,666	50	0,577	50	50	0
J3042_3	60	60	0	62	62	0	62	62	0
J3042_4	51	51	0	49,666	49	0,577	49,333	49	0,577
J3042_5	55	55	0	52	52	0	52	52	0
J3042_6	68	68	0	66,666	66	0,577	66,666	66	0,577
J3042_7	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J3042_8	82	82	0	82	82	0	82	82	0
J3042_9	63	63	0	61,666	61	0,577	60,333	60	0,577
J3042_10	76	76	0	75	75	0	75	75	0
J3043_1	59	59	0	55,333	55	0,577	55,333	55	0,577
J3043_2	46	46	0	43	43	0	43	43	0
J3043_3	61,333	61	0,577	58	58	0	57	57	0
J3043_4	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J3043_5	68	68	0	64,333	64	0,577	64	64	0
J3043_6	59	59	0	58	58	0	58	58	0
J3043_7	54	54	0	52	52	0	52	52	0
J3043_8	66	66	0	63	63	0	62	62	0
J3043_9	65	65	0	57	57	0	57	57	0
J3043_10	63	63	0	60	60	0	60	60	0
J3044_1	50	50	0	50	50	0	50	50	0
J3044_2	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J3044_3	51	51	0	51	51	0	51	51	0
J3044_4	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3044_5	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3044_6	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J3044_7	42	42	0	42	42	0	42	42	0
J3044_8	49	49	0	49	49	0	49	49	0
J3044_9	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J3044_10	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3045_1	94	94	0	84,333	83	1,154	82	82	0
J3045_2	129,666	129	0,577	125	125	0	125	125	0
J3045_3	104	104	0	98	98	0	96	94	2
J3045_4	93	93	0	88,666	87	1,527	85	84	1
J3045_5	93	93	0	87,666	86	2,081	87	86	1

J3045_6	133,333	133	0,577	132,666	132	1,154	129,666	129	1,154
J3045_7	113	113	0	105,666	105	1,154	103,666	101	2,309
J3045_8	102	102	0	95	95	0	94	94	0
J3045_9	92,333	92	0,577	85	85	0	84	83	1
J3045_10	99	99	0	92	91	1	91	91	0
J3046_1	62,333	62	0,577	60	60	0	60	60	0
J3046_2	70	70	0	67	67	0	67	67	0
J3046_3	70	70	0	66,333	65	1,527	66,333	66	0,577
J3046_4	69	69	0	65	64	1	64	64	0
J3046_5	61	61	0	58,666	58	0,577	57,666	57	0,577
J3046_6	62	62	0	59,333	59	0,577	59,666	59	0,577
J3046_7	61	61	0	62	62	0	60,333	60	0,577
J3046_8	62	62	0	59,333	59	0,577	59	59	0
J3046_9	52	52	0	50,333	50	0,577	49,333	49	0,577
J3046_10	55	55	0	55,333	55	0,577	55	55	0
J3047_1	63	63	0	58	58	0	58	58	0
J3047_2	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3047_3	56	56	0	55	55	0	55	55	0
J3047_4	51	51	0	49	49	0	49	49	0
J3047_5	47	47	0	47	47	0	47	47	0
J3047_6	58	58	0	54	54	0	55	55	0
J3047_7	68	68	0	66	66	0	66	66	0
J3047_8	48	48	0	48	48	0	48	48	0
J3047_9	69	69	0	65	65	0	65	65	0
J3047_10	60	60	0	60,666	60	0,577	60	60	0
J3048_1	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J3048_2	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J3048_3	50	50	0	50	50	0	50	50	0
J3048_4	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J3048_5	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3048_6	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J3048_7	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J3048_8	44	44	0	44	44	0	44	44	0
J3048_9	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J3048_10	54	54	0	54	54	0	54	54	0

INSTANCIAS 60 ACTIVIDADES

Instancia	Paralelo			Serie			SerieTabú		
	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar
J601_1	82	82	0	77	77	0	77	77	0
J601_2	83	83	0	68,666	68	1,154	68	68	0
J601_3	73	73	0	69	69	0	68	68	0
J601_4	95	95	0	91	91	0	91	91	0
J601_5	81	81	0	74,666	74	0,577	75	75	0
J601_6	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J601_7	75	75	0	76	76	0	76	76	0
J601_8	82	82	0	77	76	1	75	75	0
J601_9	92	92	0	85	85	0	85	85	0
J601_10	87	87	0	80	80	0	80	80	0
J602_1	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J602_2	88	88	0	82	82	0	82	82	0
J602_3	80	80	0	78	78	0	78	78	0
J602_4	82	82	0	78	78	0	78	78	0
J602_5	59	59	0	54	54	0	54	54	0
J602_6	70	70	0	64	64	0	64	64	0
J602_7	59	59	0	53	53	0	53	53	0
J602_8	70	70	0	66	66	0	66	66	0
J602_9	68	68	0	65	65	0	65	65	0
J602_10	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J603_1	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J603_2	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J603_3	105	105	0	105	105	0	105	105	0
J603_4	81	81	0	81	81	0	81	81	0
J603_5	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J603_6	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J603_7	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J603_8	57	57	0	55,333	55	0,577	55	55	0
J603_9	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J603_10	78	78	0	69	69	0	69	69	0
J604_1	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J604_2	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J604_3	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J604_4	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J604_5	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J604_6	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J604_7	67	67	0	67	67	0	67	67	0

J604_8	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J604_9	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J604_10	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J605_1	85,666	85	0,577	82,333	81	2,309	80,666	80	0,577
J605_2	123	123	0	116,333	114	2,516	111,666	110	1,527
J605_3	86,333	86	0,577	88,333	88	0,577	85,666	85	0,577
J605_4	85,333	85	0,577	80,666	79	2,081	79,666	78	2,081
J605_5	119	118	1	120,333	118	2,081	116,666	115	1,527
J605_6	86,333	85	1,527	84,333	83	1,154	78,333	78	0,577
J605_7	85	85	0	82,666	82	0,577	79,666	79	0,577
J605_8	87,666	87	0,577	88,666	87	1,527	84,333	84	0,577
J605_9	104,333	104	0,577	87,333	87	0,577	86,333	85	1,154
J605_10	94,666	94	0,577	89,666	89	0,577	86,666	86	0,577
J606_1	62,333	61	1,154	62,666	62	0,577	60	60	0
J606_2	73,333	73	0,577	70	70	0	68	68	0
J606_3	79	79	0	72	72	0	72	72	0
J606_4	69,666	69	0,577	67,666	67	0,577	67	67	0
J606_5	80,333	80	0,577	78	78	0	78	78	0
J606_6	62,333	62	0,577	60	59	1	57	57	0
J606_7	64	64	0	63	63	0	62,333	62	0,577
J606_8	75,333	75	0,577	72	72	0	72	72	0
J606_9	70,666	68	2,309	64	64	0	64	64	0
J606_10	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J607_1	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J607_2	85	85	0	85	85	0	85	85	0
J607_3	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J607_4	66	66	0	63	63	0	63	63	0
J607_5	73	73	0	71	71	0	71	71	0
J607_6	70	70	0	65	65	0	65	65	0
J607_7	93	93	0	89	89	0	89	89	0
J607_8	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J607_9	47	47	0	44	44	0	44	44	0
J607_10	82	82	0	82	82	0	82	82	0
J608_1	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J608_2	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J608_3	79	79	0	79	79	0	79	79	0
J608_4	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J608_5	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J608_6	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J608_7	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J608_8	66	66	0	66	66	0	66	66	0

J608_9	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J608_10	97	97	0	97	97	0	97	97	0
J609_1	96,333	96	0,577	96,333	95	1,527	95,333	95	0,577
J609_2	100	99	1	95	93	1,732	89,333	89	0,577
J609_3	114	114	0	114,333	114	0,577	108	107	1
J609_4	100,333	99	1,154	98	96	1,732	94,333	94	0,577
J609_5	100	100	0	97,333	96	1,527	94,333	94	0,577
J609_6	131,666	131	1,154	123,666	121	3,055	119	118	1,732
J609_7	122,333	122	0,577	124,666	124	0,577	120,666	120	0,577
J609_8	109	107	2	107	107	0	104	103	1
J609_9	120	120	0	110,333	108	2,081	108	108	0
J609_10	108	108	0	106,666	105	2,081	103,333	102	1,154
J6010_1	90	90	0	85	85	0	85	85	0
J6010_2	66	66	0	62	62	0	62	62	0
J6010_3	75,333	75	0,577	72,666	72	0,577	72	72	0
J6010_4	84	84	0	80	80	0	80	80	0
J6010_5	79,666	79	0,577	79	79	0	79	79	0
J6010_6	73	73	0	67	67	0	67	67	0
J6010_7	74,333	74	0,577	70,666	70	0,577	69,333	69	0,577
J6010_8	70,666	70	1,154	66,333	66	0,577	65	65	0
J6010_9	85	84	1	74,666	74	0,577	73	73	0
J6010_10	74	73	1	73	73	0	73	73	0
J6011_1	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J6011_2	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J6011_3	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6011_4	74,666	74	0,577	69	69	0	69	69	0
J6011_5	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J6011_6	74	74	0	70	70	0	70	70	0
J6011_7	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J6011_8	71	71	0	69	69	0	69	69	0
J6011_9	62,666	62	1,154	62	62	0	62	62	0
J6011_10	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J6012_1	59	59	0	59	59	0	59	59	0
J6012_2	58	58	0	58	58	0	58	58	0
J6012_3	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6012_4	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6012_5	63	63	0	63	63	0	63	63	0
J6012_6	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J6012_7	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J6012_8	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J6012_9	59	59	0	59	59	0	59	59	0

J6012_10	79	79	0	79	79	0	79	79	0
J6013_1	132,333	132	0,577	128,666	128	1,154	124,666	123	1,527
J6013_2	129	129	0	117,666	117	1,154	116	115	1
J6013_3	95,333	95	0,577	99,666	99	0,577	95,666	95	0,577
J6013_4	115	114	1	113,666	113	0,577	111	110	1
J6013_5	113,666	113	0,577	110	108	2	107,333	107	0,577
J6013_6	109	108	1	107,666	106	1,527	102,333	102	0,577
J6013_7	104,333	104	0,577	98,666	97	1,527	95,333	94	1,154
J6013_8	138,333	138	0,577	137,333	136	1,154	134	133	1
J6013_9	116	114	1,732	114,666	113	1,527	110,333	110	0,577
J6013_10	132,333	132	0,577	130,666	129	1,527	128,666	128	0,577
J6014_1	68	67	1	63	62	1,732	62,666	62	0,577
J6014_2	71	71	0	65	65	0	65	65	0
J6014_3	69	69	0	66	66	0	64	64	0
J6014_4	73	72	1	70	70	0	69,333	69	0,577
J6014_5	65	65	0	59,333	59	0,577	59	59	0
J6014_6	66	66	0	65	65	0	65	65	0
J6014_7	74,666	74	0,577	69	69	0	69	69	0
J6014_8	92	92	0	88	88	0	88	88	0
J6014_9	64,666	64	0,577	61	61	0	61	61	0
J6014_10	80	79	1	78,333	78	0,577	76,666	76	0,577
J6015_1	84,666	84	0,577	84	84	0	84	84	0
J6015_2	89	89	0	89	89	0	89	89	0
J6015_3	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6015_4	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6015_5	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J6015_6	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6015_7	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J6015_8	80	80	0	79	79	0	79	79	0
J6015_9	74	74	0	72	72	0	72	72	0
J6015_10	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J6016_1	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J6016_2	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J6016_3	53	53	0	53	53	0	53	53	0
J6016_4	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J6016_5	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J6016_6	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J6016_7	82	82	0	82	82	0	82	82	0
J6016_8	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J6016_9	54	54	0	54	54	0	54	54	0
J6016_10	68	68	0	68	68	0	68	68	0

J6017_1	100	100	0	89,666	89	1,154	86	86	0
J6017_2	72	72	0	70	70	0	70	70	0
J6017_3	96	96	0	91,666	90	1,527	89,333	89	0,577
J6017_4	80	80	0	71	71	0	71	71	0
J6017_5	63	63	0	60,666	60	0,577	59,666	59	0,577
J6017_6	87	87	0	70	70	0	69	69	0
J6017_7	97	97	0	84,333	83	1,154	83	83	0
J6017_8	89	89	0	88	87	1	87	87	0
J6017_9	86	86	0	78	78	0	77	76	1
J6017_10	74	74	0	72	72	0	72	72	0
J6018_1	86	86	0	81	81	0	81	81	0
J6018_2	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6018_3	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6018_4	78	78	0	71	71	0	71	71	0
J6018_5	80	80	0	80	80	0	80	80	0
J6018_6	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J6018_7	99	99	0	93	93	0	93	93	0
J6018_8	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6018_9	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6018_10	102	102	0	97	97	0	97	97	0
J6019_1	63	63	0	62	62	0	62	62	0
J6019_2	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J6019_3	84	84	0	83	83	0	83	83	0
J6019_4	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J6019_5	73	73	0	73	73	0	73	73	0
J6019_6	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6019_7	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J6019_8	90	90	0	87	87	0	87	87	0
J6019_9	72	72	0	69	69	0	69	69	0
J6019_10	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6020_1	60	60	0	60	60	0	60	60	0
J6020_2	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6020_3	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6020_4	86	86	0	86	86	0	86	86	0
J6020_5	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J6020_6	97	97	0	97	97	0	97	97	0
J6020_7	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6020_8	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J6020_9	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6020_10	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J6021_1	110,666	110	0,577	112,333	112	0,577	109	107	1,732

J6021_2	125	124	1,732	120,666	119	1,527	115,333	114	1,154
J6021_3	97	96	1	99	96	2,645	96	95	1
J6021_4	111,333	110	1,154	107	106	1	102	100	1,732
J6021_5	98,333	98	0,577	97,666	95	2,516	95,333	95	0,577
J6021_6	95	93	1,732	92	91	1	86,666	86	1,154
J6021_7	121	121	0	107,666	106	1,527	106	105	1
J6021_8	123,666	123	0,577	119,333	118	1,527	115	114	1
J6021_9	102,666	102	0,577	98	97	1	95,333	95	0,577
J6021_10	93	93	0	88,666	88	0,577	84	83	1
J6022_1	69	69	0	65	65	0	64,666	64	0,577
J6022_2	90,666	90	1,154	83	83	0	83	83	0
J6022_3	78,333	78	0,577	71	70	1	70	70	0
J6022_4	82,666	82	1,154	78	78	0	76	75	1
J6022_5	82	82	0	76	76	0	76	76	0
J6022_6	86	86	0	79,333	79	0,577	79	79	0
J6022_7	73	73	0	69	69	0	69	69	0
J6022_8	63,666	63	0,577	59	59	0	59	59	0
J6022_9	74,333	74	0,577	65	65	0	65	65	0
J6022_10	75	75	0	71	71	0	70	70	0
J6023_1	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6023_2	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6023_3	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6023_4	88	88	0	83	83	0	83	83	0
J6023_5	74	74	0	72	72	0	72	72	0
J6023_6	81	81	0	81	81	0	81	81	0
J6023_7	62	62	0	60	60	0	60	60	0
J6023_8	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6023_9	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J6023_10	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J6024_1	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J6024_2	55	55	0	55	55	0	55	55	0
J6024_3	67	67	0	67	67	0	67	67	0
J6024_4	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6024_5	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6024_6	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6024_7	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J6024_8	81	81	0	81	81	0	81	81	0
J6024_9	80	80	0	80	80	0	80	80	0
J6024_10	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J6025_1	132,666	131	1,527	126,666	125	1,527	124,666	122	3,055
J6025_2	117	115	2	110,666	108	3,055	107,666	107	0,577

J6025_3	138	137	1	125	123	2	123	122	1
J6025_4	128	127	1	120,333	119	1,527	117,666	116	1,527
J6025_5	113,333	112	1,527	110	109	1	104,333	103	1,154
J6025_6	123	121	2	127,333	127	0,577	122	121	1
J6025_7	103,666	103	0,577	100,666	100	0,577	98	98	0
J6025_8	116	116	0	116	114	2	112,333	111	1,527
J6025_9	108,666	108	0,577	112,666	111	1,527	107,666	105	2,309
J6025_10	122	122	0	118,333	117	1,154	116	115	1
J6026_1	87	86	1	80	80	0	80	80	0
J6026_2	73,333	72	1,154	68	68	0	67,333	67	0,577
J6026_3	79	79	0	79	79	0	78,333	78	0,577
J6026_4	80,666	80	0,577	70,333	70	0,577	69,333	69	0,577
J6026_5	68	68	0	61	61	0	61	61	0
J6026_6	79	79	0	78,333	77	1,154	76	76	0
J6026_7	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6026_8	93,333	93	0,577	89	89	0	89	89	0
J6026_9	76	74	1,732	69,666	69	0,577	67,666	67	0,577
J6026_10	90	90	0	85	85	0	85	85	0
J6027_1	96	96	0	96	96	0	96	96	0
J6027_2	76	76	0	74	74	0	74	74	0
J6027_3	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6027_4	65	65	0	60	60	0	60	60	0
J6027_5	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6027_6	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J6027_7	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J6027_8	88	88	0	88	88	0	88	88	0
J6027_9	79	79	0	76	76	0	76	76	0
J6027_10	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J6028_1	92	92	0	92	92	0	92	92	0
J6028_2	64	64	0	64	64	0	64	64	0
J6028_3	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6028_4	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J6028_5	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J6028_6	89	89	0	89	89	0	89	89	0
J6028_7	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6028_8	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J6028_9	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6028_10	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6029_1	120,666	120	0,577	116	113	2,645	114,333	113	1,154
J6029_2	148,333	148	0,577	147,666	146	1,527	143,666	141	2,309
J6029_3	138,666	138	0,577	140	139	1,732	136	136	0

J6029_4	151	151	0	147	145	2	146	145	1
J6029_5	129,333	128	1,527	123,666	123	0,577	121,333	121	0,577
J6029_6	173,333	172	1,154	177	174	3	170,333	169	1,527
J6029_7	140,333	140	0,577	136,333	136	0,577	133,333	132	1,527
J6029_8	113,333	113	0,577	115,666	115	0,577	109,666	109	0,577
J6029_9	125	125	0	126,333	125	1,154	123	122	1
J6029_10	135,333	135	0,577	133,666	133	0,577	131,333	131	0,577
J6030_1	80	80	0	70	70	0	70	70	0
J6030_2	77,333	77	0,577	74,333	73	1,154	73,333	73	0,577
J6030_3	91,333	91	0,577	86,333	86	0,577	84	84	0
J6030_4	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6030_5	84,666	84	0,577	81,666	81	0,577	79	79	0
J6030_6	71,333	71	0,577	68	68	0	68	68	0
J6030_7	92	92	0	91,666	91	0,577	89,333	89	0,577
J6030_8	73	73	0	63,666	63	0,577	63	63	0
J6030_9	109,666	109	0,577	98	98	0	98	98	0
J6030_10	95	95	0	93	92	1	90,666	90	0,577
J6031_1	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J6031_2	78	78	0	74	74	0	74	74	0
J6031_3	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J6031_4	74	74	0	68	68	0	68	68	0
J6031_5	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6031_6	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6031_7	78	78	0	76	76	0	76	76	0
J6031_8	77	77	0	75	75	0	75	75	0
J6031_9	86	86	0	86	86	0	86	86	0
J6031_10	58,333	58	0,577	56	56	0	56	56	0
J6032_1	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6032_2	114	114	0	114	114	0	114	114	0
J6032_3	85	85	0	85	85	0	85	85	0
J6032_4	56	56	0	56	56	0	56	56	0
J6032_5	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6032_6	93	93	0	93	93	0	93	93	0
J6032_7	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6032_8	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6032_9	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6032_10	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6033_1	112	112	0	105	105	0	105	105	0
J6033_2	106	106	0	100	100	0	100	100	0
J6033_3	84	84	0	80,333	80	0,577	80	79	1
J6033_4	84	84	0	81	81	0	81	81	0

J6033_5	115	115	0	108	108	0	108	108	0
J6033_6	82	82	0	77	77	0	75,666	75	0,577
J6033_7	80	80	0	79	79	0	79	79	0
J6033_8	84	84	0	81	81	0	80,666	80	0,577
J6033_9	111	111	0	108	108	0	108	108	0
J6033_10	95	95	0	85	85	0	84	84	0
J6034_1	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6034_2	73	73	0	68	68	0	68	68	0
J6034_3	66	66	0	62	62	0	62	62	0
J6034_4	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J6034_5	80	80	0	80	80	0	80	80	0
J6034_6	86	86	0	81	81	0	81	81	0
J6034_7	88	88	0	85	85	0	85	85	0
J6034_8	67	67	0	63	63	0	63	63	0
J6034_9	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6034_10	95	95	0	92	92	0	92	92	0
J6035_1	90	90	0	78	78	0	78	78	0
J6035_2	79	79	0	77	77	0	77	77	0
J6035_3	95	95	0	89	89	0	89	89	0
J6035_4	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6035_5	77	77	0	76	76	0	76	76	0
J6035_6	79	79	0	79	79	0	79	79	0
J6035_7	77	77	0	73	73	0	73	73	0
J6035_8	78	78	0	78	78	0	78	78	0
J6035_9	78	78	0	76	76	0	76	76	0
J6035_10	72	72	0	71	71	0	71	71	0
J6036_1	61	61	0	61	61	0	61	61	0
J6036_2	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6036_3	81	81	0	81	81	0	81	81	0
J6036_4	85	85	0	85	85	0	85	85	0
J6036_5	57	57	0	57	57	0	57	57	0
J6036_6	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6036_7	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J6036_8	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6036_9	86	86	0	86	86	0	86	86	0
J6036_10	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6037_1	107,333	107	0,577	104	103	1	101,666	101	0,577
J6037_2	107	106	1,732	102	101	1	99	99	0
J6037_3	151,333	151	0,577	150,333	148	2,081	144,333	142	2,081
J6037_4	110	110	0	111,333	111	0,577	105,666	105	0,577
J6037_5	109	109	0	104	103	1	104,333	104	0,577

J6037_6	111,333	111	0,577	111	110	1	107	106	1
J6037_7	128,666	128	0,577	121	119	1,732	118	115	2,645
J6037_8	107	106	1	96,333	95	1,527	96	96	0
J6037_9	110,333	110	0,577	105	104	1	101,666	101	0,577
J6037_10	112,666	110	2,309	103,666	100	3,511	100,666	100	1,154
J6038_1	85	85	0	73	73	0	73	73	0
J6038_2	80,666	80	0,577	80	79	1	79	79	0
J6038_3	81	81	0	79,666	78	1,527	78	78	0
J6038_4	61	61	0	59	58	1	58	58	0
J6038_5	108	108	0	103	103	0	103	103	0
J6038_6	90	90	0	86	86	0	86	86	0
J6038_7	82,666	82	0,577	75,333	75	0,577	74	74	0
J6038_8	75	75	0	73,666	73	0,577	72	72	0
J6038_9	68	68	0	67,333	67	0,577	66	66	0
J6038_10	72,666	72	1,154	67,333	67	0,577	67	67	0
J6039_1	92	92	0	80	80	0	80	80	0
J6039_2	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J6039_3	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J6039_4	96	96	0	92	92	0	92	92	0
J6039_5	75	75	0	73	73	0	73	73	0
J6039_6	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J6039_7	72	72	0	68	68	0	68	68	0
J6039_8	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6039_9	72	72	0	72	72	0	72	72	0
J6039_10	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6040_1	86	86	0	86	86	0	86	86	0
J6040_2	81	81	0	81	81	0	81	81	0
J6040_3	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J6040_4	87	87	0	87	87	0	87	87	0
J6040_5	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J6040_6	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6040_7	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J6040_8	80	80	0	80	80	0	80	80	0
J6040_9	90	90	0	90	90	0	90	90	0
J6040_10	73	73	0	73	73	0	73	73	0
J6041_1	134	132	1,732	135	132	2,645	129,333	127	2,081
J6041_2	130	130	0	123,333	122	2,309	119,333	118	1,527
J6041_3	116	114	1,732	115,333	113	2,081	109,333	108	1,154
J6041_4	142	142	0	142,333	140	2,081	141,666	140	1,527
J6041_5	127,333	126	1,527	129	128	1	125,333	124	1,527
J6041_6	147	146	1	147,666	146	1,527	140,333	139	2,309

J6041_7	156,666	155	1,527	149,333	146	4,163	145,333	143	2,081
J6041_8	159	157	1,732	148,666	145	3,511	148	147	1
J6041_9	146	145	1	148,666	148	0,577	141,333	141	0,577
J6041_10	123	123	0	125	123	2,645	120,333	119	1,154
J6042_1	86	86	0	83	83	0	83	83	0
J6042_2	74,666	73	1,527	68	68	0	68	68	0
J6042_3	84	84	0	85,666	85	0,577	82	82	0
J6042_4	111	110	1	106,666	106	0,577	106,333	106	0,577
J6042_5	77	77	0	73	73	0	73	73	0
J6042_6	91	90	1	82	82	0	82	82	0
J6042_7	63	63	0	63	62	1	61,333	61	0,577
J6042_8	90,666	90	0,577	86,333	85	1,527	84,666	84	0,577
J6042_9	77,333	77	0,577	73,333	73	0,577	72	72	0
J6042_10	90,333	90	0,577	87	87	0	87	87	0
J6043_1	112	112	0	108	108	0	108	108	0
J6043_2	85	85	0	85	85	0	85	85	0
J6043_3	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6043_4	78	78	0	76	76	0	75	75	0
J6043_5	65,666	65	0,577	64	64	0	64	64	0
J6043_6	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J6043_7	90	90	0	89	89	0	89	89	0
J6043_8	69	69	0	69	69	0	69	69	0
J6043_9	70	70	0	70	70	0	70	70	0
J6043_10	85	85	0	78	78	0	78	78	0
J6044_1	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J6044_2	68	68	0	68	68	0	68	68	0
J6044_3	87	87	0	87	87	0	87	87	0
J6044_4	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6044_5	74	74	0	74	74	0	74	74	0
J6044_6	81	81	0	81	81	0	81	81	0
J6044_7	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6044_8	83	83	0	83	83	0	83	83	0
J6044_9	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J6044_10	65	65	0	65	65	0	65	65	0
J6045_1	110,666	110	1,154	107,666	105	2,516	105,333	104	1,527
J6045_2	155,666	154	2,081	159,333	155	4,509	157,333	157	0,577
J6045_3	166	165	1	165,333	161	4,509	158,333	155	3,511
J6045_4	120,333	120	0,577	121,666	119	2,309	118	115	2,645
J6045_5	125	124	1	119,333	118	1,527	116,666	116	0,577
J6045_6	160,333	159	1,154	162,666	161	1,527	157,666	155	2,516
J6045_7	133,666	132	1,527	133	132	1,732	130	129	1

J6045_8	151,666	150	1,527	144	139	4,582	139,666	138	2,081
J6045_9	135,333	135	0,577	141	141	0	136	135	1,732
J6045_10	129,333	127	2,081	127,333	125	2,081	124	123	1
J6046_1	90,333	90	0,577	81,666	81	0,577	81	81	0
J6046_2	84,666	84	0,577	78	78	0	78	78	0
J6046_3	88	87	1	84	83	1	82	81	1
J6046_4	88	88	0	76	76	0	75	75	0
J6046_5	97,333	97	0,577	95,333	95	0,577	94	94	0
J6046_6	97	97	0	95	95	0	93	92	1
J6046_7	83,666	83	0,577	84	84	0	82	81	1
J6046_8	83,666	82	1,527	79	78	1	78,333	78	0,577
J6046_9	75	75	0	71,666	71	0,577	71	71	0
J6046_10	94,666	93	1,527	92,666	92	0,577	90,666	90	0,577
J6047_1	75	75	0	75	75	0	75	75	0
J6047_2	70,333	70	0,577	66	66	0	66	66	0
J6047_3	79	79	0	69	69	0	69	69	0
J6047_4	78	78	0	76	76	0	76	76	0
J6047_5	89,666	89	0,577	87	87	0	87	87	0
J6047_6	81	81	0	76	76	0	76	76	0
J6047_7	71	71	0	68	68	0	68	68	0
J6047_8	74	74	0	71	71	0	71	71	0
J6047_9	76	76	0	76	76	0	76	76	0
J6047_10	70	70	0	67	66	1	66	66	0
J6048_1	71	71	0	71	71	0	71	71	0
J6048_2	87	87	0	87	87	0	87	87	0
J6048_3	84	84	0	84	84	0	84	84	0
J6048_4	62	62	0	62	62	0	62	62	0
J6048_5	101	101	0	101	101	0	101	101	0
J6048_6	66	66	0	66	66	0	66	66	0
J6048_7	77	77	0	77	77	0	77	77	0
J6048_8	88	88	0	88	88	0	88	88	0
J6048_9	82	82	0	82	82	0	82	82	0
J6048_10	70	70	0	70	70	0	70	70	0

INSTANCIAS DE 120 ACTIVIDADES

	Paralelo			Serie			SerieTabú		
Instancia	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar	Promedio	Mínimo	Desviación Estándar
X1_1	126,666	126	0,577	116,333	115	1,527	110	110	0
X1_2	129	129	0	123	121	2	116	115	1
X1_3	133,333	133	0,577	135,666	135	0,577	128,666	128	0,577
X1_4	107,333	106	1,154	104,333	104	0,577	103	103	0
X1_5	131	131	0	122	121	1,732	115,666	115	1,154
X1_6	95,666	94	2,081	87	86	1,732	85,666	85	0,577
X1_7	131,333	131	0,577	126,333	125	1,154	124,333	124	0,577
X1_8	130,333	125	4,618	121	120	1	113,333	112	2,309
X1_9	138	137	1,732	127	124	2,645	122	119	2,645
X1_10	143,666	142	1,527	124,666	124	1,154	115	112	2,645
X2_1	93	92	1	93,666	93	0,577	91	91	0
X2_2	83,666	83	0,577	80	80	0	77	77	0
X2_3	104,666	104	0,577	102,333	101	1,154	99	98	1
X2_4	109,333	109	0,577	102	101	1	99,333	98	1,154
X2_5	118,333	118	0,577	111	111	0	109	109	0
X2_6	106	106	0	98,333	95	2,886	93	93	0
X2_7	101	101	0	97	96	1	93	92	1
X2_8	99,333	97	2,081	85	85	0	84,333	84	0,577
X2_9	107	107	0	104,333	104	0,577	99	98	1
X2_10	113	113	0	103	103	0	102	101	1
X3_1	90,666	90	0,577	86,333	86	0,577	83	83	0
X3_2	91	91	0	88	88	0	88	88	0
X3_3	106	105	1	100	100	0	100	100	0
X3_4	86	86	0	75	75	0	73,666	73	0,577
X3_5	89,333	89	0,577	84	84	0	84	84	0
X3_6	107,333	106	1,154	102	102	0	102	102	0
X3_7	97,666	97	0,577	95	95	0	94,666	93	1,527
X3_8	83	83	0	81	80	1	77	77	0
X3_9	98	98	0	86	86	0	86	86	0
X3_10	107,666	107	0,577	103	103	0	103	103	0
X4_1	79	79	0	74	74	0	74	74	0
X4_2	107	107	0	107	107	0	107	107	0
X4_3	95,666	95	0,577	95	95	0	95	95	0
X4_4	79,333	79	0,577	75	75	0	75	75	0
X4_5	80,666	80	0,577	74	74	0	74	74	0
X4_6	93	93	0	90	90	0	90	90	0

X4_7	86	86	0	84,333	84	0,577	83	83	0
X4_8	90	90	0	90	90	0	90	90	0
X4_9	79	79	0	79	79	0	79	79	0
X4_10	84	84	0	77	77	0	77	77	0
X5_1	96	96	0	92	92	0	92	92	0
X5_2	82	82	0	80	80	0	80	80	0
X5_3	74,333	74	0,577	72	72	0	72	72	0
X5_4	98	98	0	97	97	0	97	97	0
X5_5	79	79	0	77	77	0	77	77	0
X5_6	94,666	94	0,577	88	88	0	88	88	0
X5_7	84	84	0	84	84	0	84	84	0
X5_8	81,666	81	0,577	78	78	0	78	78	0
X5_9	109	109	0	106	106	0	106	106	0
X5_10	94,333	94	0,577	92	92	0	92	92	0
X6_1	173,333	172	1,527	177,333	174	3,055	167	165	1,732
X6_2	165,333	164	1,527	163,333	161	2,516	156,666	156	1,154
X6_3	167,666	167	0,577	153,333	150	2,886	148,666	148	0,577
X6_4	199	199	0	191	187	3,605	180	179	1,732
X6_5	153,666	152	1,527	146,666	146	0,577	145	144	1
X6_6	188,333	187	2,309	194,666	193	1,527	185,666	184	1,527
X6_7	215,666	214	1,527	199	192	6,244	190,666	189	1,527
X6_8	191	190	1,732	184,333	182	3,214	174	173	1
X6_9	195,333	192	3,055	185	181	3,464	179,666	179	0,577
X6_10	208,666	208	0,577	201,666	199	2,309	194,666	191	3,511
X7_1	118,333	117	1,154	118	117	1	113,333	113	0,577
X7_2	143	141	2	133,333	132	1,527	127,666	126	2,081
X7_3	129,333	128	1,527	113,666	113	0,577	109,666	109	1,154
X7_4	140,666	137	3,511	129,333	128	1,154	124	122	1,732
X7_5	155	154	1	152,666	152	1,154	147	146	1
X7_6	151,333	150	1,154	147,666	147	0,577	140	139	1
X7_7	150	149	1	130,333	130	0,577	129	128	1
X7_8	108	108	0	113,666	113	0,577	108,666	108	0,577
X7_9	110	109	1	103,666	103	0,577	99,666	99	0,577
X7_10	139,666	138	1,527	134,333	133	1,154	130	130	0
X8_1	115	115	0	101,666	101	0,577	99	98	1
X8_2	126,666	126	0,577	112,333	111	1,527	110,333	109	1,154
X8_3	116,666	116	0,577	106,333	106	0,577	103	103	0
X8_4	125,666	125	0,577	106	105	1,732	104,666	104	1,154
X8_5	121,333	120	1,154	115,666	113	2,516	112,333	112	0,577
X8_6	108,666	108	1,154	96,666	96	0,577	93	92	1
X8_7	111,333	109	2,081	96,666	96	0,577	94	94	0

X8_8	110,666	110	0,577	97	96	1	93,666	93	0,577
X8_9	115,333	114	1,527	104,333	104	0,577	103	102	1
X8_10	105,333	105	0,577	102,666	102	1,154	99,666	99	1,154
X9_1	108,333	108	0,577	89,333	88	1,154	88	88	0
X9_2	100,666	100	0,577	94	94	0	94	94	0
X9_3	96	96	0	88,333	87	1,154	87	87	0
X9_4	105,666	105	0,577	94,666	93	1,527	92	92	0
X9_5	121,333	121	0,577	114	114	0	114	114	0
X9_6	113	112	1	104	102	1,732	102,666	102	0,577
X9_7	90,333	89	1,154	80	80	0	80	80	0
X9_8	93	92	1	81	81	0	80	80	0
X9_9	101	101	0	89,666	89	0,577	88	88	0
X9_10	91,333	91	0,577	87,666	87	0,577	85	85	0
X10_1	117	116	1	111	111	0	111	111	0
X10_2	93,666	93	0,577	91	91	0	91	91	0
X10_3	108	108	0	99,666	99	1,154	99	99	0
X10_4	100,666	100	0,577	95	95	0	95	95	0
X10_5	108,333	107	1,154	97	97	0	97	97	0
X10_6	96,666	96	0,577	92	92	0	92	92	0
X10_7	84	84	0	83,333	82	1,154	80	79	1
X10_8	125,666	125	1,154	114	114	0	114	114	0
X10_9	79,333	79	0,577	77	77	0	77	77	0
X10_10	74	74	0	66	66	0	66	66	0
X11_1	201,333	201	0,577	199	197	2	195,666	195	0,577
X11_2	197,333	196	1,527	182	181	1	178,666	178	1,154
X11_3	238,333	237	1,527	243	243	0	231	229	2,645
X11_4	234	231	3,605	232	230	2,645	226,666	226	0,577
X11_5	256,333	256	0,577	254,333	250	4,509	244	241	2,645
X11_6	254,333	253	1,527	248,666	247	1,527	240	237	2,645
X11_7	192	192	0	195,333	195	0,577	188,333	188	0,577
X11_8	204	202	1,732	189,333	188	1,154	182,333	180	2,081
X11_9	196,666	196	1,154	195	194	1	191	190	1
X11_10	219,666	218	2,081	212,666	211	1,527	206	205	1
X12_1	163	161	2	161,666	160	2,081	155,666	155	0,577
X12_2	136,333	135	1,154	133	132	1	130	129	1
X12_3	157,666	157	0,577	152,666	152	0,577	148,666	148	1,154
X12_4	166	165	1	143,666	143	0,577	140,666	139	1,527
X12_5	197,333	197	0,577	186,333	184	3,214	182,333	182	0,577
X12_6	144,666	144	0,577	138	137	1	135,333	135	0,577
X12_7	145,666	145	0,577	135,666	134	1,527	132	131	1
X12_8	143,333	142	1,154	140,333	140	0,577	134,333	133	2,309

X12_9	125,333	125	0,577	116,666	116	0,577	116	116	0
X12_10	163,333	163	0,577	158	157	1	155	154	1
X13_1	164,666	164	1,154	144	144	0	139,333	139	0,577
X13_2	103,333	103	0,577	96,333	96	0,577	94	94	0
X13_3	150,333	150	0,577	132	131	1	129,333	129	0,577
X13_4	131	131	0	126,333	126	0,577	124	124	0
X13_5	112,666	112	1,154	101,666	101	0,577	98,666	98	0,577
X13_6	121,333	120	1,154	112,333	112	0,577	108,666	108	0,577
X13_7	136	136	0	122,666	122	1,154	118,666	118	1,154
X13_8	123,333	123	0,577	106	106	0	103,666	103	0,577
X13_9	102,666	102	0,577	94,333	94	0,577	90,666	90	0,577
X13_10	115	114	1	103	102	1	100,666	100	0,577
X14_1	103	102	1	91,666	91	0,577	90,333	90	0,577
X14_2	109,666	109	0,577	101	101	0	99,666	99	0,577
X14_3	105	105	0	91	90	1	90	90	0
X14_4	109,666	109	0,577	95,333	95	0,577	93,333	93	0,577
X14_5	120,666	120	0,577	109,333	108	1,527	105,333	104	1,154
X14_6	113,666	113	0,577	94,666	94	0,577	92,666	92	0,577
X14_7	107	107	0	97	97	0	95,333	95	0,577
X14_8	125	123	1,732	120,666	120	0,577	119	119	0
X14_9	116	115	1	102,666	102	0,577	101	101	0
X14_10	94	94	0	89	89	0	86,333	86	0,577
X15_1	87	87	0	81	81	0	81	81	0
X15_2	83	83	0	76,333	76	0,577	75	75	0
X15_3	102,333	102	0,577	89	88	1	87	87	0
X15_4	88,666	88	0,577	82	82	0	82	82	0
X15_5	91	91	0	87	87	0	87	87	0
X15_6	98	98	0	97	97	0	97	97	0
X15_7	82	82	0	75	75	0	75	75	0
X15_8	126	126	0	126	126	0	126	126	0
X15_9	111	110	1	109	109	0	109	109	0
X15_10	110,333	110	0,577	91	91	0	91	91	0
X16_1	231,666	230	1,527	234	231	2,645	224	222	1,732
X16_2	280	277	3	269	267	1,732	262,333	262	0,577
X16_3	273,333	271	2,081	277,333	274	3,055	266,666	264	2,516
X16_4	232	230	2	232,333	232	0,577	227	225	2
X16_5	241,666	240	1,527	233,333	232	1,154	225,666	224	1,527
X16_6	236,333	236	0,577	237,333	237	0,577	230,666	230	1,154
X16_7	219,333	218	1,527	210,333	210	0,577	208,333	205	2,886
X16_8	228,666	226	2,516	223	221	2	220	219	1
X16_9	243	243	0	232,333	231	1,527	233,666	233	0,577

X16_10	248,666	247	1,527	247	244	2,645	244	242	2,645
X17_1	163,333	162	1,154	158,333	157	1,154	153,666	153	0,577
X17_2	148,333	148	0,577	138,666	138	0,577	136,666	136	0,577
X17_3	125,666	125	0,577	119,666	119	0,577	117,666	117	1,154
X17_4	151	150	1	131,666	131	1,154	130	129	1
X17_5	150,666	150	0,577	145	144	1	142,333	141	1,154
X17_6	151,333	151	0,577	152,666	152	0,577	147,666	147	0,577
X17_7	174,333	173	1,527	163,666	163	1,154	160,333	159	1,154
X17_8	143,666	143	0,577	141,666	141	1,154	137	136	1
X17_9	156	155	1	152,333	150	2,516	149,333	149	0,577
X17_10	159,333	159	0,577	152	151	1	148,333	148	0,577
X18_1	152	151	1	151,666	151	1,154	148,666	148	0,577
X18_2	149,666	148	1,527	126,666	126	0,577	123,666	122	1,527
X18_3	108	108	0	109	109	0	106	106	0
X18_4	116	116	0	109,333	109	0,577	107,333	107	0,577
X18_5	144,666	144	0,577	129,333	129	0,577	127	126	1
X18_6	158,666	158	0,577	148	147	1	145,666	145	1,154
X18_7	141,333	141	0,577	131	130	1	128	127	1
X18_8	125,666	125	0,577	117	117	0	114,666	114	0,577
X18_9	109,666	109	0,577	99,333	99	0,577	98,333	98	0,577
X18_10	116	116	0	105,333	105	0,577	104	104	0
X19_1	105	105	0	90,333	90	0,577	88,666	88	0,577
X19_2	98	97	1	90,333	90	0,577	88	88	0
X19_3	97,333	96	1,154	91,333	91	0,577	89,666	89	0,577
X19_4	120	120	0	118	117	1	116	115	1
X19_5	120	120	0	116,666	116	0,577	112	112	0
X19_6	111,666	111	0,577	95,666	95	0,577	94,333	94	0,577
X19_7	114,666	114	0,577	98,666	98	0,577	93,333	93	0,577
X19_8	113,333	113	0,577	98	98	0	97	97	0
X19_9	102,666	102	1,154	93,333	93	0,577	92,666	92	0,577
X19_10	102	102	0	88	88	0	88	88	0
X20_1	110,333	110	0,577	92,666	92	0,577	91	91	0
X20_2	111	111	0	99	99	0	99	99	0
X20_3	91,333	91	0,577	82,333	82	0,577	81	81	0
X20_4	97,666	97	0,577	89	89	0	89	89	0
X20_5	78,666	78	0,577	70	70	0	69	69	0
X20_6	86,333	86	0,577	80	80	0	80	80	0
X20_7	86	86	0	81	81	0	81	81	0
X20_8	122,666	122	1,154	113,333	113	0,577	111,333	111	0,577
X20_9	89,333	89	0,577	80	80	0	80	80	0
X20_10	93	93	0	81	81	0	81	81	0

X21_1	138	137	1	134	132	1,732	126,666	125	1,527
X21_2	129	129	0	127,666	125	2,309	122,666	121	2,081
X21_3	157	155	2	156,333	154	2,081	148	147	1
X21_4	152,666	152	0,577	144	144	0	137,333	136	1,527
X21_5	124	123	1,732	122,333	121	1,154	118,666	118	0,577
X21_6	132	132	0	117,333	116	1,154	115	115	0
X21_7	125,333	124	1,527	124	121	3	120,666	120	0,577
X21_8	156	156	0	137,666	136	1,527	134	134	0
X21_9	122	122	0	114,666	112	3,055	110	110	0
X21_10	125,666	125	0,577	120	119	1	109,666	108	1,527
X22_1	119	119	0	108,666	106	2,309	106	105	1
X22_2	116,333	116	0,577	112,333	111	1,527	109	109	0
X22_3	105	105	0	107,333	106	2,309	104,666	104	0,577
X22_4	101,666	101	0,577	92,333	92	0,577	92	92	0
X22_5	102	102	0	99,333	98	1,154	97,333	97	0,577
X22_6	113,666	113	0,577	107,666	107	1,154	104,333	103	1,154
X22_7	151	151	0	133	133	0	133	133	0
X22_8	119	116	2,645	112,666	110	2,516	110	110	0
X22_9	119	119	0	115,666	114	1,527	111,333	111	0,577
X22_10	82,333	82	0,577	82,666	81	2,081	80	80	0
X23_1	107	107	0	107	107	0	107	107	0
X23_2	125	125	0	116	116	0	116	116	0
X23_3	99,666	99	1,154	99	99	0	99	99	0
X23_4	107,666	107	0,577	108	106	1,732	106	106	0
X23_5	107	107	0	100	100	0	99	99	0
X23_6	116,666	116	0,577	110,333	109	1,154	108,666	108	0,577
X23_7	115	114	1	104	104	0	104	104	0
X23_8	103	103	0	101	101	0	101	101	0
X23_9	117	117	0	109,666	109	1,154	107	107	0
X23_10	102	102	0	100	100	0	100	100	0
X24_1	95,333	95	0,577	93	93	0	93	93	0
X24_2	99	98	1	94	91	2,645	92	91	1,732
X24_3	89	89	0	89	89	0	89	89	0
X24_4	107,666	107	0,577	101,333	101	0,577	101	101	0
X24_5	86	86	0	88,666	88	0,577	86	86	0
X24_6	98	98	0	95	95	0	95	95	0
X24_7	115	115	0	112	112	0	112	112	0
X24_8	109,666	109	0,577	104	104	0	104	104	0
X24_9	89	89	0	83	83	0	82	82	0
X24_10	96,333	96	0,577	91	91	0	91	91	0
X25_1	87	87	0	83	83	0	82	82	0

X25_2	115	115	0	108	108	0	108	108	0
X25_3	100	100	0	100	100	0	100	100	0
X25_4	118	118	0	117	117	0	117	117	0
X25_5	100	100	0	100	100	0	100	100	0
X25_6	97	97	0	92	92	0	92	92	0
X25_7	95	95	0	95	94	1	94	94	0
X25_8	82	82	0	82	82	0	80	80	0
X25_9	94	94	0	94	94	0	94	94	0
X25_10	94	94	0	92	92	0	92	92	0
X26_1	199	198	1	203,333	202	1,154	193,666	191	3,055
X26_2	198,666	198	0,577	205	203	2	192	191	1
X26_3	202	202	0	200,666	196	4,041	193,333	192	1,154
X26_4	211,666	211	1,154	199	196	3	190,666	189	1,527
X26_5	185	184	1,732	184,333	182	2,081	177,333	175	2,081
X26_6	230,666	230	1,154	229	227	2	209	205	3,605
X26_7	189,666	187	3,055	194,333	193	1,527	182	181	1
X26_8	212,333	212	0,577	203,666	199	4,041	195,666	194	1,527
X26_9	224,333	220	5,131	209	206	4,358	196,333	195	1,154
X26_10	236	236	0	226,333	226	0,577	207,666	207	1,154
X27_1	124,333	124	0,577	121,666	121	1,154	118	118	0
X27_2	133,666	133	0,577	135,333	133	2,081	128	127	1,732
X27_3	165	165	0	158,333	155	3,055	156,333	156	0,577
X27_4	126,333	126	0,577	123,333	122	1,527	118,666	118	0,577
X27_5	128,666	128	1,154	125	123	1,732	123	122	1
X27_6	174	173	1	174,666	172	3,055	166	165	1
X27_7	157	157	0	143,333	141	2,081	137,666	137	0,577
X27_8	166,666	165	1,527	165,666	165	0,577	156,333	156	0,577
X27_9	151	151	0	147,666	147	1,154	143	142	1
X27_10	142	142	0	133	131	2	128	128	0
X28_1	139	139	0	120,333	120	0,577	116,666	116	0,577
X28_2	123	123	0	121,666	117	4,041	116,666	116	0,577
X28_3	129,666	129	0,577	103,333	103	0,577	101	101	0
X28_4	132,333	132	0,577	127,333	127	0,577	123	122	1
X28_5	117,333	116	1,154	102	102	0	102	102	0
X28_6	129,333	129	0,577	111,333	110	1,154	108,666	108	0,577
X28_7	125	124	1	124	123	1	119,666	119	0,577
X28_8	115,333	115	0,577	112,333	112	0,577	108	107	1,732
X28_9	128	128	0	112,666	111	1,527	107	106	1
X28_10	142	141	1	133,333	132	1,154	127	126	1
X29_1	119,333	117	2,081	104	104	0	104	104	0
X29_2	102,333	102	0,577	91	91	0	91	91	0

X29_3	111,333	111	0,577	107	106	1	103,666	103	1,154
X29_4	90,333	90	0,577	84,666	84	0,577	83	83	0
X29_5	114	113	1	106,666	106	0,577	103,333	103	0,577
X29_6	101,333	101	0,577	101,666	101	0,577	98	97	1
X29_7	103,333	103	0,577	97	97	0	97	97	0
X29_8	95	95	0	86	85	1	83,333	83	0,577
X29_9	106	106	0	98,333	98	0,577	97	97	0
X29_10	106,333	106	0,577	96	96	0	96	96	0
X30_1	113	113	0	102	102	0	102	102	0
X30_2	112,333	112	0,577	112	112	0	112	112	0
X30_3	109,333	108	1,154	108	108	0	108	108	0
X30_4	88,666	88	0,577	83	83	0	83	83	0
X30_5	99,666	99	0,577	91	91	0	89	88	1
X30_6	87,333	87	0,577	79	79	0	79	79	0
X30_7	107,666	107	0,577	97,333	96	1,154	95,666	95	0,577
X30_8	87	86	1	79	79	0	79	79	0
X30_9	100	100	0	93	93	0	93	93	0
X30_10	91	91	0	86	86	0	86	86	0
X31_1	233,666	233	0,577	232	230	1,732	225,666	225	0,577
X31_2	229,666	226	3,214	231,333	229	3,214	223,666	222	1,527
X31_3	207,666	207	0,577	203	203	0	193,333	193	0,577
X31_4	277,333	276	1,527	257,666	256	1,527	253,333	253	0,577
X31_5	244	243	1	234,666	234	0,577	228	226	2,645
X31_6	239,333	237	2,516	220,333	220	0,577	215,666	213	2,516
X31_7	249,333	246	3,055	243,666	241	2,516	232	231	1
X31_8	230	229	1	232,333	231	1,527	221,333	220	1,527
X31_9	225	223	1,732	229,666	227	2,516	218,666	218	0,577
X31_10	267,666	265	2,516	274,666	273	2,081	264	259	4,358
X32_1	178	176	2	167	166	1,732	162,333	161	1,154
X32_2	159	157	1,732	156,333	153	2,886	148	147	1
X32_3	176,333	175	1,154	165,333	164	1,154	161	160	1
X32_4	167,666	166	1,527	155,333	154	1,154	150	148	2
X32_5	170,333	169	1,527	163,333	162	1,154	155	154	1
X32_6	154,666	153	1,527	146,333	146	0,577	139,333	138	1,527
X32_7	148	147	1	138,666	138	0,577	136	135	1
X32_8	156,333	155	1,154	153,666	153	1,154	151,333	151	0,577
X32_9	146	145	1,732	142	142	0	140	139	1
X32_10	160	159	1	150,333	149	1,154	146,666	146	0,577
X33_1	134	134	0	119,666	117	2,309	117	117	0
X33_2	134,666	134	0,577	130	130	0	123,666	123	0,577
X33_3	135,333	134	1,154	123	123	0	118,666	118	0,577

X33_4	134,333	134	0,577	127	127	0	123	123	0
X33_5	174,333	173	1,154	163,333	162	1,527	160,666	160	0,577
X33_6	141	140	1,732	130,333	129	1,527	125	125	0
X33_7	144,333	144	0,577	135,333	134	1,527	131,666	131	0,577
X33_8	132	132	0	127,666	127	0,577	124	123	1
X33_9	146	146	0	130,666	130	0,577	125,333	125	0,577
X33_10	124,666	124	0,577	119,666	118	1,527	117	115	1,732
X34_1	92,666	92	0,577	83,666	83	0,577	81,666	81	0,577
X34_2	127	126	1	112,333	112	0,577	111,333	110	1,154
X34_3	115,666	115	0,577	111,666	111	0,577	109	108	1
X34_4	116	116	0	99,333	99	0,577	96,333	96	0,577
X34_5	120	119	1	112,666	112	0,577	110	109	1
X34_6	120,666	120	0,577	101	101	0	101	101	0
X34_7	126,666	126	0,577	110,666	110	0,577	109	109	0
X34_8	103,333	103	0,577	97	96	1	94,666	94	0,577
X34_9	113	113	0	103,666	103	1,154	101,333	101	0,577
X34_10	117,666	117	0,577	101,333	101	0,577	101	101	0
X35_1	87	87	0	87	87	0	87	87	0
X35_2	130	130	0	117,333	117	0,577	116	115	1
X35_3	87,333	87	0,577	81,666	81	0,577	80	80	0
X35_4	118,333	118	0,577	104,333	104	0,577	101	101	0
X35_5	108,666	108	0,577	101	101	0	98,666	98	0,577
X35_6	97	97	0	86	86	0	86	86	0
X35_7	109,666	109	0,577	99	99	0	99	99	0
X35_8	112	112	0	102,333	101	1,154	101	101	0
X35_9	105,666	105	0,577	95	95	0	94	94	0
X35_10	97,333	97	0,577	86	86	0	86	86	0
X36_1	239,333	236	3,511	249,333	247	2,516	239,333	237	2,081
X36_2	259	257	2,645	265	263	2	254,333	252	2,081
X36_3	266,333	264	2,516	267	266	1	257,666	256	1,527
X36_4	275,333	274	1,527	279,666	277	2,516	268	266	2
X36_5	267,666	267	0,577	267,333	266	1,527	259	256	2,645
X36_6	272,333	271	1,154	266	261	4,358	258,666	258	0,577
X36_7	245	245	0	242,333	242	0,577	233	232	1
X36_8	203,666	202	1,527	199,333	199	0,577	194,666	193	1,527
X36_9	268,666	268	1,154	262	262	0	250,666	249	2,081
X36_10	252,333	251	1,527	250,666	250	1,154	243,666	243	0,577
X37_1	173,666	172	1,527	164	163	1,732	160,666	160	0,577
X37_2	161,666	161	0,577	163,666	163	0,577	157,666	157	1,154
X37_3	161,666	161	0,577	157,666	155	2,309	155	154	1
X37_4	186,666	185	1,527	185	185	0	180,333	180	0,577

X37_5	233	232	1,732	231,666	230	2,081	228,666	227	1,527
X37_6	197,333	197	0,577	181,666	180	1,527	179	179	0
X37_7	188	185	2,645	184,333	182	2,516	181,333	180	1,154
X37_8	212,333	211	1,527	207	206	1	198	197	1
X37_9	171,333	171	0,577	163,333	162	1,154	158,333	158	0,577
X37_10	152	151	1	148,666	148	0,577	144,333	144	0,577
X38_1	135	134	1	118,666	118	0,577	117	116	1
X38_2	142,666	142	0,577	142	141	1	136,333	136	0,577
X38_3	174,666	174	0,577	170	169	1	166,333	165	1,154
X38_4	170,666	170	0,577	155,333	154	1,154	152,333	151	1,154
X38_5	127,666	127	1,154	123,666	123	0,577	121	121	0
X38_6	141,333	141	0,577	136,666	136	0,577	132	132	0
X38_7	125	124	1	112,666	112	0,577	110,666	110	0,577
X38_8	142,666	142	0,577	139,333	139	0,577	136,333	136	0,577
X38_9	171	170	1	147,333	147	0,577	144,666	144	1,154
X38_10	156,333	156	0,577	153,666	153	0,577	150,333	150	0,577
X39_1	116,666	116	0,577	103,333	103	0,577	100,666	100	0,577
X39_2	131,333	131	0,577	121	121	0	118	117	1
X39_3	131,333	131	0,577	122	122	0	118,666	118	0,577
X39_4	107,666	107	0,577	106	106	0	104,333	104	0,577
X39_5	119,333	119	0,577	108,333	107	1,527	106	106	0
X39_6	115,333	115	0,577	97	97	0	95,666	95	0,577
X39_7	123,333	123	0,577	113	113	0	111	111	0
X39_8	115	115	0	107,333	107	0,577	105,666	105	0,577
X39_9	104	103	1	100,333	100	0,577	99	99	0
X39_10	123,333	123	0,577	120	120	0	116,666	116	0,577
X40_1	93	93	0	87,333	86	1,527	84,666	84	0,577
X40_2	102	102	0	93,666	93	0,577	92	92	0
X40_3	105,666	105	0,577	89,333	89	0,577	88	88	0
X40_4	122,666	122	0,577	112	112	0	112	112	0
X40_5	116	115	1	101	101	0	101	101	0
X40_6	96	95	1	90	90	0	90	90	0
X40_7	99,666	99	0,577	91	91	0	91	91	0
X40_8	110	110	0	97	97	0	97	97	0
X40_9	127,666	127	0,577	118	117	1	117	117	0
X40_10	103	102	1	96	96	0	96	96	0
X41_1	144	144	0	138,333	137	1,527	132,666	132	1,154
X41_2	153,666	153	1,154	151,666	151	0,577	142,666	142	0,577
X41_3	154	154	0	152	151	1	145,333	145	0,577
X41_4	134	134	0	128,666	128	1,154	124,333	121	2,886
X41_5	146	145	1	143,666	143	0,577	142,666	141	1,527

X41_6	129	129	0	121	121	0	116,666	116	0,577
X41_7	120,666	120	0,577	123,333	123	0,577	117	116	1
X41_8	157	157	0	142	142	0	138,666	138	1,154
X41_9	131	130	1	133	132	1	126,666	126	0,577
X41_10	161,666	161	0,577	151	148	2,645	144,666	143	1,527
X42_1	118,666	118	0,577	119,333	116	2,886	115	114	1
X42_2	135	135	0	126	126	0	126	126	0
X42_3	114	114	0	114,666	112	2,309	108,333	106	2,081
X42_4	121	121	0	114,666	114	0,577	108,333	108	0,577
X42_5	143,666	141	2,309	133	132	1	127	126	1
X42_6	131	131	0	129	128	1,732	124,333	124	0,577
X42_7	139	139	0	125	124	1,732	124	124	0
X42_8	134	134	0	124	123	1	120,333	120	0,577
X42_9	122,666	122	0,577	109	108	1	106,333	105	1,154
X42_10	134,333	134	0,577	126,333	126	0,577	122,333	121	1,154
X43_1	109	109	0	108,333	107	1,154	106	106	0
X43_2	126	126	0	120	120	0	120	120	0
X43_3	107,666	107	0,577	96	96	0	96	96	0
X43_4	111	110	1	111,333	110	1,527	105,666	105	1,154
X43_5	117	117	0	112	112	0	109,333	108	1,154
X43_6	114	113	1	102,666	102	1,154	100,666	100	0,577
X43_7	133	133	0	122	122	0	122	122	0
X43_8	125	125	0	115	115	0	115	115	0
X43_9	109	109	0	108,333	106	2,081	105	105	0
X43_10	118,666	118	0,577	113	113	0	113	113	0
X44_1	102	102	0	100	100	0	100	100	0
X44_2	116	116	0	112	112	0	112	112	0
X44_3	109	109	0	107	107	0	107	107	0
X44_4	104	104	0	96	96	0	95	95	0
X44_5	102	102	0	99	99	0	98,666	98	0,577
X44_6	109	109	0	106	106	0	106	106	0
X44_7	102	102	0	98	98	0	98	98	0
X44_8	117	117	0	114	113	1	109	109	0
X44_9	93	93	0	91	91	0	91	91	0
X44_10	106	106	0	98	98	0	98	98	0
X45_1	108	108	0	108	108	0	108	108	0
X45_2	98	98	0	91	91	0	91	91	0
X45_3	100	100	0	98	98	0	98	98	0
X45_4	105	105	0	103	103	0	103	103	0
X45_5	119	119	0	116	116	0	116	116	0
X45_6	125	125	0	125	125	0	125	125	0

X45_7	103	103	0	103	103	0	103	103	0
X45_8	105	105	0	103	103	0	103	103	0
X45_9	114	114	0	114	114	0	114	114	0
X45_10	102	102	0	99	99	0	99	99	0
X46_1	237,333	236	2,309	226,666	224	2,516	217,666	217	0,577
X46_2	257,666	257	1,154	231,333	229	2,516	225	224	1
X46_3	209,333	208	1,154	211	207	3,464	199	196	3,605
X46_4	196	195	1,732	196	194	3,464	190,333	190	0,577
X46_5	188,666	185	3,511	181	178	3	174	173	1,732
X46_6	212,666	212	0,577	212	209	3,605	204	200	4
X46_7	201,333	199	2,516	198	195	2,645	190	189	1,732
X46_8	210	207	2,645	210,666	210	0,577	203,333	202	1,527
X46_9	211,333	209	2,081	197	194	3	189,333	188	2,309
X46_10	240	237	3	219,333	218	1,527	215,333	215	0,577
X47_1	162	160	2	160,333	156	4,041	155,333	155	0,577
X47_2	162,333	161	1,527	156,333	155	1,527	149	148	1
X47_3	147,333	146	1,527	140,333	140	0,577	137,666	137	0,577
X47_4	155,333	154	1,154	158	158	0	150,333	150	0,577
X47_5	158	157	1,732	145,333	144	1,527	141,666	141	1,154
X47_6	159,333	157	2,081	160	159	1,732	153,666	153	0,577
X47_7	143,666	142	1,527	134,333	134	0,577	129	128	1
X47_8	158	158	0	161,333	160	2,309	155,333	155	0,577
X47_9	168,333	168	0,577	160,666	160	1,154	155,666	155	0,577
X47_10	157	157	0	151,666	149	2,516	147	147	0
X48_1	119,666	119	0,577	110,666	110	0,577	106,666	106	0,577
X48_2	127,333	127	0,577	124	121	2,645	122	122	0
X48_3	140,666	140	0,577	128,333	127	1,154	122,666	122	1,154
X48_4	148	147	1	148,333	147	1,154	140,666	139	1,527
X48_5	122	122	0	120,666	120	0,577	118,333	118	0,577
X48_6	118,666	118	0,577	118	116	2	115,333	115	0,577
X48_7	127,666	126	1,527	119,666	119	0,577	115,666	115	0,577
X48_8	135,333	134	1,527	130,666	130	0,577	124,666	124	0,577
X48_9	131	129	1,732	128,333	125	2,886	122,333	122	0,577
X48_10	127	126	1	123,333	123	0,577	121,333	120	1,154
X49_1	107	107	0	98	97	1	96,333	96	0,577
X49_2	134,666	134	0,577	120,333	120	0,577	116	115	1
X49_3	107,666	107	0,577	103	102	1	101	101	0
X49_4	112,666	112	0,577	104,333	104	0,577	102	101	1
X49_5	100	100	0	95,666	95	0,577	92,666	92	0,577
X49_6	146	145	1	128	128	0	128	128	0
X49_7	109,666	109	0,577	109,666	108	1,527	104,333	104	0,577

X49_8	138,333	138	0,577	123	123	0	120,666	120	1,154
X49_9	110,666	110	1,154	104,333	104	0,577	101,333	100	1,154
X49_10	108,666	108	0,577	103,333	103	0,577	101,666	101	0,577
X50_1	121	121	0	116	116	0	116	116	0
X50_2	124,666	124	0,577	120	119	1	118,666	118	0,577
X50_3	116,666	116	0,577	111,666	111	0,577	111	111	0
X50_4	112,666	112	0,577	107,333	107	0,577	104,666	104	0,577
X50_5	109,666	109	0,577	104,333	102	2,081	101,333	101	0,577
X50_6	105	104	1	102	102	0	102	102	0
X50_7	140	140	0	137	137	0	137	137	0
X50_8	116,333	115	1,527	112	112	0	112	112	0
X50_9	111,666	111	0,577	101	101	0	101	101	0
X50_10	116	115	1	108	106	1,732	105,333	105	0,577
X51_1	248	242	5,567	243,333	241	2,081	237,333	235	2,516
X51_2	260,333	258	2,516	268,333	264	5,859	255,333	255	0,577
X51_3	255,333	254	1,527	263,333	257	5,507	250,666	250	1,154
X51_4	259,333	257	2,516	253,333	248	4,725	241,666	240	2,081
X51_5	280	279	1	283	281	2	271,666	270	1,527
X51_6	260,333	258	2,516	265	262	2,645	251,666	250	1,527
X51_7	255,333	254	1,527	252	250	2	241,666	241	1,154
X51_8	246,333	244	2,081	254	249	4,358	235,666	231	4,163
X51_9	251	250	1	252,666	250	2,516	243,333	239	3,785
X51_10	283,333	281	2,081	274	273	1,732	267	265	1,732
X52_1	213,333	212	1,154	205	204	1,732	202	201	1
X52_2	211,666	211	1,154	212,666	212	0,577	206,333	205	1,527
X52_3	158	155	3	155,666	155	1,154	151,666	151	0,577
X52_4	202,666	202	0,577	199,666	197	2,516	192	191	1
X52_5	201,666	198	3,511	195,666	195	0,577	188,333	185	3,055
X52_6	229,666	228	2,886	234,333	231	2,886	222,333	221	1,154
X52_7	173,333	173	0,577	169	166	3	165,666	165	0,577
X52_8	199	196	2,645	185,666	183	2,516	178,666	178	1,154
X52_9	174,333	173	1,154	170,666	170	1,154	165,666	165	1,154
X52_10	172,333	172	0,577	172,333	171	2,309	164,666	164	1,154
X53_1	171,666	170	1,527	160,333	160	0,577	158	158	0
X53_2	132	132	0	129	129	0	123,666	122	1,527
X53_3	136,333	136	0,577	125,666	125	0,577	121	121	0
X53_4	169,666	169	0,577	161	159	2,645	158	156	1,732
X53_5	131,666	131	1,154	123,333	123	0,577	120,333	120	0,577
X53_6	126	125	1	119,333	118	1,527	116,333	116	0,577
X53_7	148,666	148	0,577	133	132	1,732	129,333	129	0,577
X53_8	157,333	155	2,516	156,333	155	1,527	152,333	151	1,154

X53_9	211,333	211	0,577	186,666	185	1,527	182	180	1,732
X53_10	161,666	161	0,577	149	148	1	144	144	0
X54_1	124	123	1,732	116	116	0	113,666	113	0,577
X54_2	145	145	0	134	134	0	134	134	0
X54_3	133	133	0	118,333	118	0,577	115,333	115	0,577
X54_4	141,333	140	1,154	133,666	133	0,577	128,666	128	0,577
X54_5	122,333	122	0,577	118,666	118	0,577	116	116	0
X54_6	125,333	125	0,577	119,666	119	0,577	115,666	115	0,577
X54_7	136	136	0	123,666	123	0,577	119,666	119	1,154
X54_8	125	123	2	114	114	0	110,666	110	0,577
X54_9	122,666	122	0,577	120,666	120	1,154	118	118	0
X54_10	126,666	125	1,527	116	116	0	112,333	112	0,577
X55_1	120,666	120	1,154	109	109	0	107,666	107	0,577
X55_2	88	87	1	83	83	0	83	83	0
X55_3	134	134	0	126	126	0	126	126	0
X55_4	111,333	110	1,154	93,666	93	0,577	92	92	0
X55_5	119,666	119	0,577	106	106	0	106	106	0
X55_6	115,666	115	0,577	106,666	106	0,577	105,333	105	0,577
X55_7	111	111	0	105	105	0	105	105	0
X55_8	117,666	117	0,577	106,333	106	0,577	104,666	104	0,577
X55_9	103,333	103	0,577	96	96	0	94	94	0
X55_10	112,666	112	1,154	100	100	0	100	100	0
X56_1	273,333	271	2,081	278	277	1,732	267,666	266	2,081
X56_2	243	241	2,645	237	236	1	231,333	229	2,081
X56_3	283,666	281	2,516	282	282	0	276,333	275	2,309
X56_4	258,333	256	2,516	256,666	255	1,527	251,666	251	0,577
X56_5	331,666	330	1,527	335	334	1	317	316	1,732
X56_6	248,666	247	2,081	248	247	1,732	242	242	0
X56_7	328,666	328	0,577	337	336	1	321	319	1,732
X56_8	329	325	4	342,333	340	3,214	328	323	5
X56_9	334	331	2,645	337	336	1	329,666	327	2,309
X56_10	299	299	0	305	302	3,605	294	292	2
X57_1	216,333	212	4,509	214,333	212	2,081	207,333	207	0,577
X57_2	185	184	1,732	185	185	0	180,666	180	1,154
X57_3	218,333	218	0,577	208,333	206	2,081	206	206	0
X57_4	231,333	231	0,577	229,666	228	1,527	227,333	227	0,577
X57_5	204,333	204	0,577	202	201	1	197,666	197	0,577
X57_6	218,333	216	2,081	216,333	214	2,081	212,333	209	2,886
X57_7	191	191	0	189,666	189	0,577	183,666	181	2,516
X57_8	187	186	1,732	181	181	0	178,333	178	0,577
X57_9	196,666	194	2,516	194,666	193	1,527	186,333	184	2,516

X57_10	200	199	1	192,333	191	1,154	184,666	184	0,577
X58_1	166	165	1	159,333	158	1,527	155	153	2
X58_2	154,333	153	1,154	137,333	136	1,154	135	135	0
X58_3	132	131	1	132,333	132	0,577	130,333	130	0,577
X58_4	170,666	170	0,577	163,333	162	1,527	157,333	157	0,577
X58_5	138	137	1	132,333	131	1,154	129	129	0
X58_6	165,666	165	0,577	157	156	1	153,333	152	1,154
X58_7	170	169	1	164,666	163	1,527	159,666	158	1,527
X58_8	156	155	1	151	150	1	145,666	145	0,577
X58_9	146,666	146	1,154	143,666	143	0,577	141,333	141	0,577
X58_10	150,666	150	1,154	152,333	152	0,577	148	147	1
X59_1	126	126	0	120,666	120	0,577	118,666	118	0,577
X59_2	122,333	122	0,577	113,666	113	0,577	112	112	0
X59_3	132,666	132	0,577	113,666	113	0,577	112	112	0
X59_4	130	129	1	120	119	1	117,333	117	0,577
X59_5	128,333	128	0,577	112,666	112	0,577	111,666	111	0,577
X59_6	130,333	130	0,577	126	126	0	123,333	123	0,577
X59_7	126,333	126	0,577	125	124	1	121,666	121	0,577
X59_8	124,666	124	0,577	121	121	0	119	119	0
X59_9	140,666	139	1,527	128	127	1	125	125	0
X59_10	147,333	147	0,577	144	143	1	142,333	141	1,154
X60_1	112,666	112	0,577	101	101	0	101	101	0
X60_2	91	91	0	87,666	87	0,577	86	86	0
X60_3	102,333	101	1,154	94,666	94	0,577	93,333	93	0,577
X60_4	121,666	121	0,577	111,333	110	1,154	109	109	0
X60_5	118,333	118	0,577	112,333	111	1,154	110,333	110	0,577
X60_6	129	129	0	113,666	113	0,577	111,666	111	0,577
X60_7	108,666	108	0,577	102,666	102	0,577	100,333	100	0,577
X60_8	112,666	112	0,577	105	105	0	104	104	0
X60_9	113	113	0	101	101	0	101	101	0
X60_10	98	98	0	95,666	95	0,577	93	93	0

ANEXO 3. Instancias excluidas del análisis inferencial

INSTANCIAS DE 30 ACTIVIDADES

J301_4	J302_1	J302_2	J302_3	J302_4	J302_5	J302_6	J302_7
J302_9	J302_10	J303_2	J303_3	J303_4	J303_5	J303_6	J303_7
J303_8	J303_9	J304_1	J304_2	J304_3	J304_4	J304_5	J304_6
J304_7	J304_8	J304_9	J304_10	J306_9	J307_1	J307_2	J307_3
J307_6	J307_8	J308_1	J308_2	J308_3	J308_4	J308_5	J308_6
J308_7	J308_8	J308_9	J308_10	J3010_9	J3011_4	J3011_8	J3011_9
J3012_1	J3012_2	J3012_3	J3012_4	J3012_5	J3012_6	J3012_7	J3012_8
J3012_9	J3012_10	J3015_1	J3015_4	J3015_7	J3016_1	J3016_2	J3016_3
J3016_4	J3016_5	J3016_6	J3016_7	J3016_8	J3016_9	J3016_10	J3017_4
J3017_5	J3017_7	J3018_1	J3018_2	J3018_4	J3018_5	J3018_7	J3018_8
J3019_1	J3019_2	J3019_4	J3019_5	J3019_6	J3019_8	J3019_10	J3020_1
J3020_2	J3020_3	J3020_4	J3020_5	J3020_6	J3020_7	J3020_8	J3020_9
J3020_10	J3022_3	J3022_5	J3022_9	J3023_1	J3023_2	J3023_3	J3023_5
J3023_10	J3024_1	J3024_2	J3024_3	J3024_4	J3024_5	J3024_6	J3024_7
J3024_8	J3024_9	J3024_10	J3026_2	J3026_8	J3027_2	J3027_8	J3027_10
J3028_1	J3028_2	J3028_3	J3028_4	J3028_5	J3028_6	J3028_7	J3028_8
J3028_9	J3028_10	J3030_8	J3031_1	J3031_2	J3031_3	J3031_4	J3031_8
J3032_1	J3032_2	J3032_3	J3032_4	J3032_5	J3032_6	J3032_7	J3032_8
J3032_9	J3032_10	J3033_6	J3033_10	J3034_1	J3034_2	J3034_3	J3034_4
J3034_5	J3034_8	J3034_9	J3034_10	J3035_1	J3035_2	J3035_3	J3035_5
J3035_8	J3035_10	J3036_1	J3036_2	J3036_3	J3036_4	J3036_5	J3036_6
J3036_7	J3036_8	J3036_9	J3036_10	J3038_2	J3039_1	J3039_4	J3039_5
J3039_7	J3039_8	J3039_10	J3040_1	J3040_2	J3040_3	J3040_4	J3040_5
J3040_6	J3040_7	J3040_8	J3040_9	J3040_10	J3042_7	J3042_8	J3043_4
J3044_1	J3044_2	J3044_3	J3044_4	J3044_5	J3044_6	J3044_7	J3044_8
J3044_9	J3044_10	J3047_2	J3047_5	J3047_8	J3048_1	J3048_2	J3048_3
J3048_4	J3048_5	J3048_6	J3048_7	J3048_8	J3048_9	J3048_10	

INSTANCIAS DE 60 ACTIVIDADES

J301_4	J302_1	J302_2	J302_3	J302_4	J302_5	J302_6	J302_7
J302_9	J302_10	J303_2	J303_3	J303_4	J303_5	J303_6	J303_7
J303_8	J303_9	J304_1	J304_2	J304_3	J304_4	J304_5	J304_6
J304_7	J304_8	J304_9	J304_10	J306_9	J307_1	J307_2	J307_3
J307_6	J307_8	J308_1	J308_2	J308_3	J308_4	J308_5	J308_6
J308_7	J308_8	J308_9	J308_10	J3010_9	J3011_4	J3011_8	J3011_9
J3012_1	J3012_2	J3012_3	J3012_4	J3012_5	J3012_6	J3012_7	J3012_8
J3012_9	J3012_10	J3015_1	J3015_4	J3015_7	J3016_1	J3016_2	J3016_3
J3016_4	J3016_5	J3016_6	J3016_7	J3016_8	J3016_9	J3016_10	J3017_4
J3017_5	J3017_7	J3018_1	J3018_2	J3018_4	J3018_5	J3018_7	J3018_8
J3019_1	J3019_2	J3019_4	J3019_5	J3019_6	J3019_8	J3019_10	J3020_1
J3020_2	J3020_3	J3020_4	J3020_5	J3020_6	J3020_7	J3020_8	J3020_9
J3020_10	J3022_3	J3022_5	J3022_9	J3023_1	J3023_2	J3023_3	J3023_5
J3023_10	J3024_1	J3024_2	J3024_3	J3024_4	J3024_5	J3024_6	J3024_7

J3024_8	J3024_9	J3024_10	J3026_2	J3026_8	J3027_2	J3027_8	J3027_10
J3028_1	J3028_2	J3028_3	J3028_4	J3028_5	J3028_6	J3028_7	J3028_8
J3028_9	J3028_10	J3030_8	J3031_1	J3031_2	J3031_3	J3031_4	J3031_8
J3032_1	J3032_2	J3032_3	J3032_4	J3032_5	J3032_6	J3032_7	J3032_8
J3032_9	J3032_10	J3033_6	J3033_10	J3034_1	J3034_2	J3034_3	J3034_4
J3034_5	J3034_8	J3034_9	J3034_10	J3035_1	J3035_2	J3035_3	J3035_5
J3035_8	J3035_10	J3036_1	J3036_2	J3036_3	J3036_4	J3036_5	J3036_6
J3036_7	J3036_8	J3036_9	J3036_10	J3038_2	J3039_1	J3039_4	J3039_5
J3039_7	J3039_8	J3039_10	J3040_1	J3040_2	J3040_3	J3040_4	J3040_5
J3040_6	J3040_7	J3040_8	J3040_9	J3040_10	J3042_7	J3042_8	J3043_4
J3044_1	J3044_2	J3044_3	J3044_4	J3044_5	J3044_6	J3044_7	J3044_8
J3044_9	J3044_10	J3047_2	J3047_5	J3047_8	J3048_1	J3048_2	J3048_3
J3048_4	J3048_5	J3048_6	J3048_7	J3048_8	J3048_9	J3048_10	

INSTANCIAS DE 120 ACTIVIDADES

X4_2	X4_8	X4_9	X5_7	X15_8	X23_1	X24_3	X25_3
X25_5	X25_9	X35_1	X45_1	X45_6	X45_7	X45_9	

ANEXO 4. GAP's por Instancias

INSTANCIAS DE 30 ACTIVIDADES

ST=SerieTabú

O = Óptimo tomado de la literatura

Instancia	ST	O	GAP(%)	Instancia	ST	O	GAP(%)	Instancia	ST	O	GAP(%)
J301_1	43	43	0,00%	J3017_1	64	64	0,00%	J3033_1	65	65	0,00%
J301_2	47	47	0,00%	J3017_2	68	68	0,00%	J3033_2	60	60	0,00%
J301_3	47	47	0,00%	J3017_3	60	60	0,00%	J3033_3	55	55	0,00%
J301_4	62	62	0,00%	J3017_4	49	49	0,00%	J3033_4	77	77	0,00%
J301_5	39	39	0,00%	J3017_5	47	47	0,00%	J3033_5	53	53	0,00%
J301_6	48	48	0,00%	J3017_6	63	63	0,00%	J3033_6	59	59	0,00%
J301_7	60	60	0,00%	J3017_7	57	57	0,00%	J3033_7	58	58	0,00%
J301_8	53	53	0,00%	J3017_8	61	61	0,00%	J3033_8	61	61	0,00%
J301_9	49	49	0,00%	J3017_9	48	48	0,00%	J3033_9	65	65	0,00%
J301_10	45	45	0,00%	J3017_10	66	66	0,00%	J3033_10	53	53	0,00%
J302_1	38	38	0,00%	J3018_1	53	53	0,00%	J3034_1	68	68	0,00%
J302_2	51	51	0,00%	J3018_2	55	55	0,00%	J3034_2	44	44	0,00%
J302_3	43	43	0,00%	J3018_3	56	56	0,00%	J3034_3	69	69	0,00%
J302_4	43	43	0,00%	J3018_4	70	70	0,00%	J3034_4	67	67	0,00%
J302_5	51	51	0,00%	J3018_5	52	52	0,00%	J3034_5	63	63	0,00%
J302_6	47	47	0,00%	J3018_6	62	62	0,00%	J3034_6	52	52	0,00%
J302_7	47	47	0,00%	J3018_7	48	48	0,00%	J3034_7	58	58	0,00%
J302_8	54	54	0,00%	J3018_8	52	52	0,00%	J3034_8	58	58	0,00%
J302_9	54	54	0,00%	J3018_9	47	47	0,00%	J3034_9	60	60	0,00%
J302_10	43	43	0,00%	J3018_10	49	49	0,00%	J3034_10	47	47	0,00%
J303_1	72	72	0,00%	J3019_1	40	40	0,00%	J3035_1	57	57	0,00%
J303_2	40	40	0,00%	J3019_2	58	58	0,00%	J3035_2	53	53	0,00%
J303_3	57	57	0,00%	J3019_3	83	83	0,00%	J3035_3	60	60	0,00%
J303_4	98	98	0,00%	J3019_4	39	39	0,00%	J3035_4	50	50	0,00%
J303_5	53	53	0,00%	J3019_5	48	48	0,00%	J3035_5	60	60	0,00%
J303_6	54	54	0,00%	J3019_6	49	49	0,00%	J3035_6	58	58	0,00%
J303_7	48	48	0,00%	J3019_7	57	57	0,00%	J3035_7	61	61	0,00%
J303_8	54	54	0,00%	J3019_8	55	55	0,00%	J3035_8	63	63	0,00%

J303_9	65	65	0,00%	J3019_9	38	38	0,00%	J3035_9	59	59	0,00%
J303_10	59	59	0,00%	J3019_10	47	47	0,00%	J3035_10	59	59	0,00%
J304_1	49	49	0,00%	J3020_1	57	57	0,00%	J3036_1	66	66	0,00%
J304_2	60	60	0,00%	J3020_2	70	70	0,00%	J3036_2	44	44	0,00%
J304_3	47	47	0,00%	J3020_3	49	49	0,00%	J3036_3	61	61	0,00%
J304_4	57	57	0,00%	J3020_4	43	43	0,00%	J3036_4	59	59	0,00%
J304_5	59	59	0,00%	J3020_5	61	61	0,00%	J3036_5	64	64	0,00%
J304_6	45	45	0,00%	J3020_6	51	51	0,00%	J3036_6	46	46	0,00%
J304_7	56	56	0,00%	J3020_7	42	42	0,00%	J3036_7	56	56	0,00%
J304_8	55	55	0,00%	J3020_8	51	51	0,00%	J3036_8	63	63	0,00%
J304_9	38	38	0,00%	J3020_9	41	41	0,00%	J3036_9	59	59	0,00%
J304_10	48	48	0,00%	J3020_10	37	37	0,00%	J3036_10	59	59	0,00%
J305_1	53	53	0,00%	J3021_1	84	84	0,00%	J3037_1	79	79	0,00%
J305_2	82	82	0,00%	J3021_2	59	59	0,00%	J3037_2	69	69	0,00%
J305_3	77	76	1,32%	J3021_3	76	76	0,00%	J3037_3	81	81	0,00%
J305_4	63	63	0,00%	J3021_4	70	70	0,00%	J3037_4	83	83	0,00%
J305_5	76	76	0,00%	J3021_5	55	55	0,00%	J3037_5	80	80	0,00%
J305_6	65	64	1,56%	J3021_6	77	76	1,32%	J3037_6	73	73	0,00%
J305_7	77	76	1,32%	J3021_7	65	65	0,00%	J3037_7	92	92	0,00%
J305_8	67	67	0,00%	J3021_8	62	62	0,00%	J3037_8	72	72	0,00%
J305_9	49	49	0,00%	J3021_9	69	69	0,00%	J3037_9	57	57	0,00%
J305_10	70	70	0,00%	J3021_10	69	69	0,00%	J3037_10	81	81	0,00%
J306_1	59	59	0,00%	J3022_1	42	42	0,00%	J3038_1	48	48	0,00%
J306_2	51	51	0,00%	J3022_2	45	45	0,00%	J3038_2	54	54	0,00%
J306_3	48	48	0,00%	J3022_3	63	63	0,00%	J3038_3	59	59	0,00%
J306_4	42	42	0,00%	J3022_4	42	42	0,00%	J3038_4	59	59	0,00%
J306_5	67	67	0,00%	J3022_5	52	52	0,00%	J3038_5	71	71	0,00%
J306_6	37	37	0,00%	J3022_6	52	52	0,00%	J3038_6	63	63	0,00%
J306_7	46	46	0,00%	J3022_7	60	60	0,00%	J3038_7	65	65	0,00%
J306_8	39	39	0,00%	J3022_8	55	55	0,00%	J3038_8	61	61	0,00%
J306_9	51	51	0,00%	J3022_9	76	76	0,00%	J3038_9	63	63	0,00%
J306_10	61	61	0,00%	J3022_10	55	55	0,00%	J3038_10	60	60	0,00%
J307_1	55	55	0,00%	J3023_1	63	63	0,00%	J3039_1	55	55	0,00%
J307_2	42	42	0,00%	J3023_2	53	53	0,00%	J3039_2	54	54	0,00%
J307_3	42	42	0,00%	J3023_3	46	46	0,00%	J3039_3	54	54	0,00%
J307_4	44	44	0,00%	J3023_4	65	65	0,00%	J3039_4	53	53	0,00%
J307_5	44	44	0,00%	J3023_5	52	52	0,00%	J3039_5	55	55	0,00%
J307_6	35	35	0,00%	J3023_6	48	48	0,00%	J3039_6	69	69	0,00%
J307_7	50	50	0,00%	J3023_7	60	60	0,00%	J3039_7	56	56	0,00%
J307_8	44	44	0,00%	J3023_8	48	48	0,00%	J3039_8	67	67	0,00%
J307_9	60	60	0,00%	J3023_9	63	63	0,00%	J3039_9	64	64	0,00%

J307_10	49	49	0,00%	J3023_10	61	61	0,00%	J3039_10	60	60	0,00%
J308_1	44	44	0,00%	J3024_1	53	53	0,00%	J3040_1	51	51	0,00%
J308_2	51	51	0,00%	J3024_2	58	58	0,00%	J3040_2	56	56	0,00%
J308_3	53	53	0,00%	J3024_3	69	69	0,00%	J3040_3	57	57	0,00%
J308_4	48	48	0,00%	J3024_4	53	53	0,00%	J3040_4	57	57	0,00%
J308_5	58	58	0,00%	J3024_5	51	51	0,00%	J3040_5	65	65	0,00%
J308_6	47	47	0,00%	J3024_6	56	56	0,00%	J3040_6	60	60	0,00%
J308_7	41	41	0,00%	J3024_7	44	44	0,00%	J3040_7	46	46	0,00%
J308_8	51	51	0,00%	J3024_8	38	38	0,00%	J3040_8	57	57	0,00%
J308_9	39	39	0,00%	J3024_9	43	43	0,00%	J3040_9	64	64	0,00%
J308_10	67	67	0,00%	J3024_10	53	53	0,00%	J3040_10	51	51	0,00%
J309_1	83	83	0,00%	J3025_1	95	93	2,15%	J3041_1	88	86	2,33%
J309_2	92	92	0,00%	J3025_2	75	75	0,00%	J3041_2	90	89	1,12%
J309_3	71	68	4,41%	J3025_3	78	76	2,63%	J3041_3	86	85	1,18%
J309_4	71	71	0,00%	J3025_4	82	81	1,23%	J3041_4	78	78	0,00%
J309_5	70	70	0,00%	J3025_5	72	72	0,00%	J3041_5	99	99	0,00%
J309_6	61	59	3,39%	J3025_6	61	58	5,17%	J3041_6	103	103	0,00%
J309_7	65	63	3,17%	J3025_7	96	95	1,05%	J3041_7	92	92	0,00%
J309_8	92	91	1,10%	J3025_8	71	69	2,90%	J3041_8	89	88	1,14%
J309_9	63	63	0,00%	J3025_9	86	84	2,38%	J3041_9	93	92	1,09%
J309_10	88	88	0,00%	J3025_10	60	58	3,45%	J3041_10	100	99	1,01%
J3010_1	42	42	0,00%	J3026_1	59	59	0,00%	J3042_1	58	58	0,00%
J3010_2	57	56	1,79%	J3026_2	40	40	0,00%	J3042_2	50	50	0,00%
J3010_3	62	62	0,00%	J3026_3	58	58	0,00%	J3042_3	60	60	0,00%
J3010_4	59	58	1,72%	J3026_4	62	62	0,00%	J3042_4	49	49	0,00%
J3010_5	41	41	0,00%	J3026_5	74	74	0,00%	J3042_5	52	52	0,00%
J3010_6	44	44	0,00%	J3026_6	54	53	1,89%	J3042_6	66	66	0,00%
J3010_7	49	49	0,00%	J3026_7	56	56	0,00%	J3042_7	66	66	0,00%
J3010_8	54	54	0,00%	J3026_8	66	66	0,00%	J3042_8	82	82	0,00%
J3010_9	49	49	0,00%	J3026_9	43	43	0,00%	J3042_9	60	60	0,00%
J3010_10	41	41	0,00%	J3026_10	49	49	0,00%	J3042_10	75	75	0,00%
J3011_1	54	54	0,00%	J3027_1	43	43	0,00%	J3043_1	55	55	0,00%
J3011_2	56	56	0,00%	J3027_2	58	58	0,00%	J3043_2	43	43	0,00%
J3011_3	81	81	0,00%	J3027_3	60	60	0,00%	J3043_3	57	57	0,00%
J3011_4	63	63	0,00%	J3027_4	64	64	0,00%	J3043_4	67	67	0,00%
J3011_5	49	49	0,00%	J3027_5	49	49	0,00%	J3043_5	64	64	0,00%
J3011_6	44	44	0,00%	J3027_6	59	59	0,00%	J3043_6	58	58	0,00%
J3011_7	36	36	0,00%	J3027_7	49	49	0,00%	J3043_7	52	52	0,00%
J3011_8	62	62	0,00%	J3027_8	66	66	0,00%	J3043_8	62	62	0,00%
J3011_9	67	67	0,00%	J3027_9	55	55	0,00%	J3043_9	57	57	0,00%
J3011_10	38	38	0,00%	J3027_10	62	62	0,00%	J3043_10	60	60	0,00%

J3012_1	47	47	0,00%	J3028_1	69	69	0,00%	J3044_1	50	50	0,00%
J3012_2	46	46	0,00%	J3028_2	57	57	0,00%	J3044_2	54	54	0,00%
J3012_3	37	37	0,00%	J3028_3	40	40	0,00%	J3044_3	51	51	0,00%
J3012_4	63	63	0,00%	J3028_4	49	49	0,00%	J3044_4	57	57	0,00%
J3012_5	47	47	0,00%	J3028_5	73	73	0,00%	J3044_5	55	55	0,00%
J3012_6	53	53	0,00%	J3028_6	55	55	0,00%	J3044_6	56	56	0,00%
J3012_7	55	55	0,00%	J3028_7	48	48	0,00%	J3044_7	42	42	0,00%
J3012_8	35	35	0,00%	J3028_8	53	53	0,00%	J3044_8	49	49	0,00%
J3012_9	52	52	0,00%	J3028_9	62	62	0,00%	J3044_9	64	64	0,00%
J3012_10	57	57	0,00%	J3028_10	59	59	0,00%	J3044_10	63	63	0,00%
J3013_1	61	58	5,17%	J3029_1	87	85	2,35%	J3045_1	82	82	0,00%
J3013_2	64	62	3,23%	J3029_2	93	90	3,33%	J3045_2	125	125	0,00%
J3013_3	76	76	0,00%	J3029_3	79	78	1,28%	J3045_3	94	92	2,17%
J3013_4	74	72	2,78%	J3029_4	103	103	0,00%	J3045_4	84	84	0,00%
J3013_5	69	67	2,99%	J3029_5	99	98	1,02%	J3045_5	86	86	0,00%
J3013_6	66	64	3,13%	J3029_6	94	92	2,17%	J3045_6	129	129	0,00%
J3013_7	79	77	2,60%	J3029_7	74	73	1,37%	J3045_7	101	101	0,00%
J3013_8	106	106	0,00%	J3029_8	83	80	3,75%	J3045_8	94	94	0,00%
J3013_9	72	71	1,41%	J3029_9	101	97	4,12%	J3045_9	83	82	1,22%
J3013_10	65	64	1,56%	J3029_10	77	76	1,32%	J3045_10	91	90	1,11%
J3014_1	50	50	0,00%	J3030_1	48	47	2,13%	J3046_1	60	59	1,69%
J3014_2	53	53	0,00%	J3030_2	70	68	2,94%	J3046_2	67	67	0,00%
J3014_3	59	58	1,72%	J3030_3	56	55	1,82%	J3046_3	65	65	0,00%
J3014_4	50	50	0,00%	J3030_4	53	53	0,00%	J3046_4	64	64	0,00%
J3014_5	53	52	1,92%	J3030_5	55	54	1,85%	J3046_5	57	57	0,00%
J3014_6	35	35	0,00%	J3030_6	62	62	0,00%	J3046_6	59	59	0,00%
J3014_7	50	50	0,00%	J3030_7	68	68	0,00%	J3046_7	60	59	1,69%
J3014_8	54	54	0,00%	J3030_8	46	46	0,00%	J3046_8	59	58	1,72%
J3014_9	47	46	2,17%	J3030_9	46	46	0,00%	J3046_9	49	49	0,00%
J3014_10	61	61	0,00%	J3030_10	53	53	0,00%	J3046_10	55	55	0,00%
J3015_1	46	46	0,00%	J3031_1	43	43	0,00%	J3047_1	58	58	0,00%
J3015_2	47	47	0,00%	J3031_2	63	63	0,00%	J3047_2	59	59	0,00%
J3015_3	48	48	0,00%	J3031_3	58	58	0,00%	J3047_3	55	55	0,00%
J3015_4	48	48	0,00%	J3031_4	50	50	0,00%	J3047_4	49	49	0,00%
J3015_5	58	58	0,00%	J3031_5	52	52	0,00%	J3047_5	47	47	0,00%
J3015_6	67	67	0,00%	J3031_6	53	53	0,00%	J3047_6	54	53	1,89%
J3015_7	47	47	0,00%	J3031_7	61	61	0,00%	J3047_7	66	66	0,00%
J3015_8	50	50	0,00%	J3031_8	58	58	0,00%	J3047_8	48	48	0,00%
J3015_9	54	54	0,00%	J3031_9	50	50	0,00%	J3047_9	65	65	0,00%
J3015_10	65	65	0,00%	J3031_10	55	55	0,00%	J3047_10	60	60	0,00%
J3016_1	51	51	0,00%	J3032_1	61	61	0,00%	J3048_1	63	63	0,00%

J3016_2	48	48	0,00%	J3032_2	60	60	0,00%	J3048_2	54	54	0,00%
J3016_3	36	36	0,00%	J3032_3	57	57	0,00%	J3048_3	50	50	0,00%
J3016_4	47	47	0,00%	J3032_4	68	68	0,00%	J3048_4	57	57	0,00%
J3016_5	51	51	0,00%	J3032_5	54	54	0,00%	J3048_5	58	58	0,00%
J3016_6	51	51	0,00%	J3032_6	44	44	0,00%	J3048_6	58	58	0,00%
J3016_7	34	34	0,00%	J3032_7	35	35	0,00%	J3048_7	55	55	0,00%
J3016_8	44	44	0,00%	J3032_8	54	54	0,00%	J3048_8	44	44	0,00%
J3016_9	44	44	0,00%	J3032_9	65	65	0,00%	J3048_9	59	59	0,00%
J3016_10	51	51	0,00%	J3032_10	51	51	0,00%	J3048_10	54	54	0,00%

INSTANCIAS DE 60 ACTIVIDADES

ST=SerieTabú

O = Óptimo tomado de la literatura

Instancia	ST	O	GAP(%)	Instancia	ST	O	GAP(%)	Instancia	ST	O	GAP(%)
J601_1	77	77	0,00%	J6017_1	86	86	0,00%	J6033_1	105	105	0,00%
J601_2	68	68	0,00%	J6017_2	70	69	1,45%	J6033_2	100	100	0,00%
J601_3	68	68	0,00%	J6017_3	89	89	0,00%	J6033_3	79	79	0,00%
J601_4	91	91	0,00%	J6017_4	71	71	0,00%	J6033_4	81	81	0,00%
J601_5	74	73	1,37%	J6017_5	59	59	0,00%	J6033_5	108	108	0,00%
J601_6	66	66	0,00%	J6017_6	69	69	0,00%	J6033_6	75	75	0,00%
J601_7	75	72	4,17%	J6017_7	83	83	0,00%	J6033_7	79	78	1,28%
J601_8	75	75	0,00%	J6017_8	87	85	2,35%	J6033_8	80	79	1,27%
J601_9	85	85	0,00%	J6017_9	76	76	0,00%	J6033_9	108	108	0,00%
J601_10	80	80	0,00%	J6017_10	72	72	0,00%	J6033_10	84	84	0,00%
J602_1	65	65	0,00%	J6018_1	81	81	0,00%	J6034_1	72	72	0,00%
J602_2	82	82	0,00%	J6018_2	69	69	0,00%	J6034_2	68	68	0,00%
J602_3	78	78	0,00%	J6018_3	77	77	0,00%	J6034_3	62	61	1,64%
J602_4	78	78	0,00%	J6018_4	71	71	0,00%	J6034_4	83	83	0,00%
J602_5	54	54	0,00%	J6018_5	80	80	0,00%	J6034_5	80	80	0,00%
J602_6	64	64	0,00%	J6018_6	61	61	0,00%	J6034_6	81	81	0,00%
J602_7	53	53	0,00%	J6018_7	93	93	0,00%	J6034_7	85	85	0,00%
J602_8	66	66	0,00%	J6018_8	78	78	0,00%	J6034_8	63	63	0,00%
J602_9	65	65	0,00%	J6018_9	69	69	0,00%	J6034_9	77	77	0,00%
J602_10	69	69	0,00%	J6018_10	97	97	0,00%	J6034_10	92	92	0,00%
J603_1	60	60	0,00%	J6019_1	62	62	0,00%	J6035_1	78	78	0,00%
J603_2	69	69	0,00%	J6019_2	83	83	0,00%	J6035_2	77	77	0,00%
J603_3	105	105	0,00%	J6019_3	83	83	0,00%	J6035_3	89	89	0,00%
J603_4	81	81	0,00%	J6019_4	67	67	0,00%	J6035_4	72	72	0,00%
J603_5	83	83	0,00%	J6019_5	73	73	0,00%	J6035_5	76	76	0,00%
J603_6	57	57	0,00%	J6019_6	69	69	0,00%	J6035_6	79	79	0,00%
J603_7	59	59	0,00%	J6019_7	60	60	0,00%	J6035_7	73	73	0,00%
J603_8	55	55	0,00%	J6019_8	87	87	0,00%	J6035_8	78	78	0,00%
J603_9	67	67	0,00%	J6019_9	69	69	0,00%	J6035_9	76	76	0,00%
J603_10	69	69	0,00%	J6019_10	78	78	0,00%	J6035_10	71	71	0,00%
J604_1	84	84	0,00%	J6020_1	60	60	0,00%	J6036_1	61	61	0,00%

J604_2	60	60	0,00%	J6020_2	78	78	0,00%	J6036_2	75	75	0,00%
J604_3	58	58	0,00%	J6020_3	69	69	0,00%	J6036_3	81	81	0,00%
J604_4	65	65	0,00%	J6020_4	86	86	0,00%	J6036_4	85	85	0,00%
J604_5	75	75	0,00%	J6020_5	71	71	0,00%	J6036_5	57	57	0,00%
J604_6	71	71	0,00%	J6020_6	97	97	0,00%	J6036_6	76	76	0,00%
J604_7	67	67	0,00%	J6020_7	74	74	0,00%	J6036_7	71	71	0,00%
J604_8	65	65	0,00%	J6020_8	65	65	0,00%	J6036_8	69	69	0,00%
J604_9	75	75	0,00%	J6020_9	74	74	0,00%	J6036_9	86	86	0,00%
J604_10	77	77	0,00%	J6020_10	70	70	0,00%	J6036_10	77	77	0,00%
J605_1	80	76	5,26%	J6021_1	107	103	3,88%	J6037_1	101	97	4,12%
J605_2	110	106	3,77%	J6021_2	114	108	5,56%	J6037_2	99	95	4,21%
J605_3	85	80	6,25%	J6021_3	95	87	9,20%	J6037_3	142	139	2,16%
J605_4	78	72	8,33%	J6021_4	100	95	5,26%	J6037_4	105	101	3,96%
J605_5	115	108	6,48%	J6021_5	95	89	6,74%	J6037_5	103	98	5,10%
J605_6	78	74	5,41%	J6021_6	86	84	2,38%	J6037_6	106	102	3,92%
J605_7	79	75	5,33%	J6021_7	105	103	1,94%	J6037_7	115	110	4,55%
J605_8	84	78	7,69%	J6021_8	114	110	3,64%	J6037_8	95	93	2,15%
J605_9	85	83	2,41%	J6021_9	95	89	6,74%	J6037_9	101	96	5,21%
J605_10	86	81	6,17%	J6021_10	83	80	3,75%	J6037_10	100	96	4,17%
J606_1	60	60	0,00%	J6022_1	64	64	0,00%	J6038_1	73	73	0,00%
J606_2	68	67	1,49%	J6022_2	83	83	0,00%	J6038_2	79	76	3,95%
J606_3	72	72	0,00%	J6022_3	70	70	0,00%	J6038_3	78	77	1,30%
J606_4	67	67	0,00%	J6022_4	75	73	2,74%	J6038_4	58	58	0,00%
J606_5	78	78	0,00%	J6022_5	76	76	0,00%	J6038_5	103	103	0,00%
J606_6	57	55	3,64%	J6022_6	79	79	0,00%	J6038_6	86	86	0,00%
J606_7	62	61	1,64%	J6022_7	69	69	0,00%	J6038_7	74	74	0,00%
J606_8	72	72	0,00%	J6022_8	59	59	0,00%	J6038_8	72	71	1,41%
J606_9	64	64	0,00%	J6022_9	65	65	0,00%	J6038_9	66	66	0,00%
J606_10	74	74	0,00%	J6022_10	70	70	0,00%	J6038_10	67	66	1,52%
J607_1	77	77	0,00%	J6023_1	75	75	0,00%	J6039_1	80	80	0,00%
J607_2	85	85	0,00%	J6023_2	69	69	0,00%	J6039_2	84	84	0,00%
J607_3	62	62	0,00%	J6023_3	78	78	0,00%	J6039_3	83	83	0,00%
J607_4	63	63	0,00%	J6023_4	83	83	0,00%	J6039_4	92	92	0,00%
J607_5	71	71	0,00%	J6023_5	72	72	0,00%	J6039_5	73	73	0,00%
J607_6	65	65	0,00%	J6023_6	81	81	0,00%	J6039_6	84	84	0,00%
J607_7	89	89	0,00%	J6023_7	60	60	0,00%	J6039_7	68	68	0,00%
J607_8	66	66	0,00%	J6023_8	72	72	0,00%	J6039_8	77	77	0,00%
J607_9	44	44	0,00%	J6023_9	64	64	0,00%	J6039_9	72	72	0,00%
J607_10	82	82	0,00%	J6023_10	68	68	0,00%	J6039_10	74	74	0,00%
J608_1	64	64	0,00%	J6024_1	65	65	0,00%	J6040_1	86	86	0,00%
J608_2	61	61	0,00%	J6024_2	55	55	0,00%	J6040_2	81	81	0,00%

J608_3	79	79	0,00%	J6024_3	67	67	0,00%	J6040_3	70	70	0,00%
J608_4	64	64	0,00%	J6024_4	78	78	0,00%	J6040_4	87	87	0,00%
J608_5	83	83	0,00%	J6024_5	76	76	0,00%	J6040_5	83	83	0,00%
J608_6	56	56	0,00%	J6024_6	75	75	0,00%	J6040_6	69	69	0,00%
J608_7	62	62	0,00%	J6024_7	68	68	0,00%	J6040_7	68	68	0,00%
J608_8	66	66	0,00%	J6024_8	81	81	0,00%	J6040_8	80	80	0,00%
J608_9	58	58	0,00%	J6024_9	80	80	0,00%	J6040_9	90	90	0,00%
J608_10	97	97	0,00%	J6024_10	66	66	0,00%	J6040_10	73	73	0,00%
J609_1	95	87	9,20%	J6025_1	122	114	7,02%	J6041_1	127	122	4,10%
J609_2	89	82	8,54%	J6025_2	107	98	9,18%	J6041_2	118	113	4,42%
J609_3	107	100	7,00%	J6025_3	122	113	7,96%	J6041_3	108	98	10,20%
J609_4	94	87	8,05%	J6025_4	116	108	7,41%	J6041_4	140	133	5,26%
J609_5	94	85	10,59%	J6025_5	103	98	5,10%	J6041_5	124	115	7,83%
J609_6	118	111	6,31%	J6025_6	121	112	8,04%	J6041_6	139	134	3,73%
J609_7	120	109	10,09%	J6025_7	98	90	8,89%	J6041_7	143	132	8,33%
J609_8	103	96	7,29%	J6025_8	111	99	12,12%	J6041_8	145	135	7,41%
J609_9	108	99	9,09%	J6025_9	105	99	6,06%	J6041_9	141	131	7,63%
J609_10	102	93	9,68%	J6025_10	115	108	6,48%	J6041_10	119	111	7,21%
J6010_1	85	85	0,00%	J6026_1	80	80	0,00%	J6042_1	83	83	0,00%
J6010_2	62	62	0,00%	J6026_2	67	66	1,52%	J6042_2	68	68	0,00%
J6010_3	72	72	0,00%	J6026_3	78	76	2,63%	J6042_3	82	78	5,13%
J6010_4	80	80	0,00%	J6026_4	69	67	2,99%	J6042_4	106	103	2,91%
J6010_5	79	79	0,00%	J6026_5	61	61	0,00%	J6042_5	73	73	0,00%
J6010_6	67	67	0,00%	J6026_6	76	74	2,70%	J6042_6	82	82	0,00%
J6010_7	69	69	0,00%	J6026_7	72	72	0,00%	J6042_7	61	59	3,39%
J6010_8	65	65	0,00%	J6026_8	89	89	0,00%	J6042_8	84	82	2,44%
J6010_9	73	73	0,00%	J6026_9	67	65	3,08%	J6042_9	72	71	1,41%
J6010_10	73	73	0,00%	J6026_10	85	85	0,00%	J6042_10	87	87	0,00%
J6011_1	71	71	0,00%	J6027_1	96	96	0,00%	J6043_1	108	108	0,00%
J6011_2	61	61	0,00%	J6027_2	74	74	0,00%	J6043_2	85	85	0,00%
J6011_3	76	76	0,00%	J6027_3	76	76	0,00%	J6043_3	74	74	0,00%
J6011_4	69	69	0,00%	J6027_4	60	60	0,00%	J6043_4	75	75	0,00%
J6011_5	65	65	0,00%	J6027_5	78	78	0,00%	J6043_5	64	64	0,00%
J6011_6	70	70	0,00%	J6027_6	64	64	0,00%	J6043_6	84	84	0,00%
J6011_7	70	70	0,00%	J6027_7	83	83	0,00%	J6043_7	89	89	0,00%
J6011_8	69	69	0,00%	J6027_8	88	88	0,00%	J6043_8	69	69	0,00%
J6011_9	62	62	0,00%	J6027_9	76	76	0,00%	J6043_9	70	70	0,00%
J6011_10	58	58	0,00%	J6027_10	57	57	0,00%	J6043_10	78	78	0,00%
J6012_1	59	59	0,00%	J6028_1	92	92	0,00%	J6044_1	84	84	0,00%
J6012_2	58	58	0,00%	J6028_2	64	64	0,00%	J6044_2	68	68	0,00%
J6012_3	75	75	0,00%	J6028_3	72	72	0,00%	J6044_3	87	87	0,00%

J6012_4	69	69	0,00%	J6028_4	84	84	0,00%	J6044_4	77	77	0,00%
J6012_5	63	63	0,00%	J6028_5	71	71	0,00%	J6044_5	74	74	0,00%
J6012_6	54	54	0,00%	J6028_6	89	89	0,00%	J6044_6	81	81	0,00%
J6012_7	71	71	0,00%	J6028_7	75	75	0,00%	J6044_7	76	76	0,00%
J6012_8	60	60	0,00%	J6028_8	62	62	0,00%	J6044_8	83	83	0,00%
J6012_9	59	59	0,00%	J6028_9	74	74	0,00%	J6044_9	65	65	0,00%
J6012_10	79	79	0,00%	J6028_10	74	74	0,00%	J6044_10	65	65	0,00%
J6013_1	123	112	9,82%	J6029_1	113	103	9,71%	J6045_1	104	96	8,33%
J6013_2	115	106	8,49%	J6029_2	141	133	6,02%	J6045_2	154	144	6,94%
J6013_3	95	88	7,95%	J6029_3	136	121	12,40%	J6045_3	155	143	8,39%
J6013_4	110	103	6,80%	J6029_4	145	134	8,21%	J6045_4	115	108	6,48%
J6013_5	107	97	10,31%	J6029_5	121	110	10,00%	J6045_5	116	106	9,43%
J6013_6	102	94	8,51%	J6029_6	169	154	9,74%	J6045_6	155	144	7,64%
J6013_7	94	87	8,05%	J6029_7	132	123	7,32%	J6045_7	129	122	5,74%
J6013_8	133	120	10,83%	J6029_8	109	103	5,83%	J6045_8	138	129	6,98%
J6013_9	110	102	7,84%	J6029_9	122	112	8,93%	J6045_9	135	123	9,76%
J6013_10	128	117	9,40%	J6029_10	131	119	10,08%	J6045_10	123	114	7,89%
J6014_1	62	61	1,64%	J6030_1	70	70	0,00%	J6046_1	81	79	2,53%
J6014_2	65	65	0,00%	J6030_2	73	70	4,29%	J6046_2	78	78	0,00%
J6014_3	64	61	4,92%	J6030_3	84	82	2,44%	J6046_3	81	79	2,53%
J6014_4	69	65	6,15%	J6030_4	76	76	0,00%	J6046_4	75	74	1,35%
J6014_5	59	59	0,00%	J6030_5	79	76	3,95%	J6046_5	94	91	3,30%
J6014_6	65	65	0,00%	J6030_6	68	68	0,00%	J6046_6	92	90	2,22%
J6014_7	69	69	0,00%	J6030_7	89	86	3,49%	J6046_7	81	78	3,85%
J6014_8	88	88	0,00%	J6030_8	63	63	0,00%	J6046_8	78	75	4,00%
J6014_9	61	61	0,00%	J6030_9	98	98	0,00%	J6046_9	71	69	2,90%
J6014_10	76	72	5,56%	J6030_10	90	86	4,65%	J6046_10	90	88	2,27%
J6015_1	84	84	0,00%	J6031_1	65	65	0,00%	J6047_1	75	75	0,00%
J6015_2	89	89	0,00%	J6031_2	74	74	0,00%	J6047_2	66	66	0,00%
J6015_3	72	72	0,00%	J6031_3	66	66	0,00%	J6047_3	69	69	0,00%
J6015_4	75	75	0,00%	J6031_4	68	68	0,00%	J6047_4	76	76	0,00%
J6015_5	70	70	0,00%	J6031_5	72	72	0,00%	J6047_5	87	87	0,00%
J6015_6	76	76	0,00%	J6031_6	72	72	0,00%	J6047_6	76	76	0,00%
J6015_7	64	64	0,00%	J6031_7	76	76	0,00%	J6047_7	68	68	0,00%
J6015_8	79	79	0,00%	J6031_8	75	75	0,00%	J6047_8	71	71	0,00%
J6015_9	72	72	0,00%	J6031_9	86	86	0,00%	J6047_9	76	76	0,00%
J6015_10	61	61	0,00%	J6031_10	56	56	0,00%	J6047_10	66	66	0,00%
J6016_1	64	64	0,00%	J6032_1	69	69	0,00%	J6048_1	71	71	0,00%
J6016_2	64	64	0,00%	J6032_2	114	114	0,00%	J6048_2	87	87	0,00%
J6016_3	53	53	0,00%	J6032_3	85	85	0,00%	J6048_3	84	84	0,00%
J6016_4	60	60	0,00%	J6032_4	56	56	0,00%	J6048_4	62	62	0,00%

J6016_5	66	66	0,00%	J6032_5	77	77	0,00%	J6048_5	101	101	0,00%
J6016_6	66	66	0,00%	J6032_6	93	93	0,00%	J6048_6	66	66	0,00%
J6016_7	82	82	0,00%	J6032_7	76	76	0,00%	J6048_7	77	77	0,00%
J6016_8	68	68	0,00%	J6032_8	76	76	0,00%	J6048_8	88	88	0,00%
J6016_9	54	54	0,00%	J6032_9	74	74	0,00%	J6048_9	82	82	0,00%
J6016_10	68	68	0,00%	J6032_10	77	77	0,00%	J6048_10	70	70	0,00%

INSTANCIAS DE 120 ACTIVIDADES

ST=SerieTabú

O = Óptimo tomado de la literatura

Instancia	ST	O	GAP(%)	Instancia	ST	O	GAP(%)	Instancia	ST	O	GAP(%)
X1_1	108	105	2,86%	X21_1	125	114	9,65%	X41_1	132	127	3,94%
X1_2	114	109	4,59%	X21_2	121	117	3,42%	X41_2	142	141	0,71%
X1_3	128	125	2,40%	X21_3	147	143	2,80%	X41_3	145	141	2,84%
X1_4	103	97	6,19%	X21_4	136	135	0,74%	X41_4	121	116	4,31%
X1_5	115	112	2,68%	X21_5	118	110	7,27%	X41_5	141	138	2,17%
X1_6	85	84	1,19%	X21_6	115	109	5,50%	X41_6	116	113	2,65%
X1_7	124	117	5,98%	X21_7	120	111	8,11%	X41_7	116	109	6,42%
X1_8	112	109	2,75%	X21_8	134	127	5,51%	X41_8	138	138	0,00%
X1_9	119	112	6,25%	X21_9	110	102	7,84%	X41_9	126	121	4,13%
X1_10	112	108	3,70%	X21_10	108	102	5,88%	X41_10	143	136	5,15%
X2_1	91	87	4,60%	X22_1	105	101	3,96%	X42_1	114	108	5,56%
X2_2	77	75	2,67%	X22_2	109	107	1,87%	X42_2	126	126	0,00%
X2_3	98	92	6,52%	X22_3	104	96	8,33%	X42_3	106	106	0,00%
X2_4	98	95	3,16%	X22_4	92	90	2,22%	X42_4	108	104	3,85%
X2_5	109	103	5,83%	X22_5	97	93	4,30%	X42_5	126	120	5,00%
X2_6	93	92	1,09%	X22_6	103	103	0,00%	X42_6	124	119	4,20%
X2_7	92	90	2,22%	X22_7	133	133	0,00%	X42_7	124	123	0,81%
X2_8	84	83	1,20%	X22_8	110	103	6,80%	X42_8	120	113	6,19%
X2_9	98	94	4,26%	X22_9	111	109	1,83%	X42_9	105	104	0,96%
X2_10	101	96	5,21%	X22_10	80	79	1,27%	X42_10	121	118	2,54%
X3_1	83	80	3,75%	X23_1	107	107	0,00%	X43_1	106	105	0,95%
X3_2	88	88	0,00%	X23_2	116	116	0,00%	X43_2	120	120	0,00%
X3_3	100	100	0,00%	X23_3	99	99	0,00%	X43_3	96	95	1,05%
X3_4	73	71	2,82%	X23_4	106	106	0,00%	X43_4	105	105	0,00%
X3_5	84	84	0,00%	X23_5	99	99	0,00%	X43_5	108	105	2,86%
X3_6	102	102	0,00%	X23_6	108	106	1,89%	X43_6	100	98	2,04%
X3_7	93	93	0,00%	X23_7	104	104	0,00%	X43_7	122	122	0,00%
X3_8	77	77	0,00%	X23_8	101	101	0,00%	X43_8	115	115	0,00%
X3_9	86	86	0,00%	X23_9	107	107	0,00%	X43_9	105	105	0,00%
X3_10	103	103	0,00%	X23_10	100	100	0,00%	X43_10	113	113	0,00%

X4_1	74	74	0,00%	X24_1	93	93	0,00%	X44_1	100	100	0,00%
X4_2	107	107	0,00%	X24_2	91	91	0,00%	X44_2	112	112	0,00%
X4_3	95	95	0,00%	X24_3	89	89	0,00%	X44_3	107	107	0,00%
X4_4	75	75	0,00%	X24_4	101	101	0,00%	X44_4	95	95	0,00%
X4_5	74	74	0,00%	X24_5	86	86	0,00%	X44_5	98	98	0,00%
X4_6	90	90	0,00%	X24_6	95	95	0,00%	X44_6	106	106	0,00%
X4_7	83	81	2,47%	X24_7	112	112	0,00%	X44_7	98	98	0,00%
X4_8	90	90	0,00%	X24_8	104	104	0,00%	X44_8	109	108	0,93%
X4_9	79	79	0,00%	X24_9	82	82	0,00%	X44_9	91	91	0,00%
X4_10	77	77	0,00%	X24_10	91	91	0,00%	X44_10	98	98	0,00%
X5_1	92	92	0,00%	X25_1	82	82	0,00%	X45_1	108	108	0,00%
X5_2	80	80	0,00%	X25_2	108	108	0,00%	X45_2	91	91	0,00%
X5_3	72	72	0,00%	X25_3	100	100	0,00%	X45_3	98	98	0,00%
X5_4	97	97	0,00%	X25_4	117	117	0,00%	X45_4	103	103	0,00%
X5_5	77	77	0,00%	X25_5	100	100	0,00%	X45_5	116	116	0,00%
X5_6	88	88	0,00%	X25_6	92	92	0,00%	X45_6	125	125	0,00%
X5_7	84	84	0,00%	X25_7	94	92	2,17%	X45_7	103	103	0,00%
X5_8	78	78	0,00%	X25_8	80	80	0,00%	X45_8	103	103	0,00%
X5_9	106	106	0,00%	X25_9	94	94	0,00%	X45_9	114	114	0,00%
X5_10	92	92	0,00%	X25_10	92	92	0,00%	X45_10	99	99	0,00%
X6_1	165	144	14,58%	X26_1	191	169	13,02%	X46_1	217	188	15,43%
X6_2	156	135	15,56%	X26_2	191	169	13,02%	X46_2	224	198	13,13%
X6_3	148	135	9,63%	X26_3	192	167	14,97%	X46_3	196	175	12,00%
X6_4	179	154	16,23%	X26_4	189	172	9,88%	X46_4	190	170	11,76%
X6_5	144	125	15,20%	X26_5	175	153	14,38%	X46_5	173	149	16,11%
X6_6	184	155	18,71%	X26_6	205	187	9,63%	X46_6	200	178	12,36%
X6_7	189	168	12,50%	X26_7	181	157	15,29%	X46_7	189	170	11,18%
X6_8	173	147	17,69%	X26_8	194	176	10,23%	X46_8	202	177	14,12%
X6_9	179	161	11,18%	X26_9	195	172	13,37%	X46_9	188	166	13,25%
X6_10	191	172	11,05%	X26_10	207	183	13,11%	X46_10	215	188	14,36%
X7_1	113	102	10,78%	X27_1	118	108	9,26%	X47_1	155	137	13,14%
X7_2	126	114	10,53%	X27_2	127	115	10,43%	X47_2	148	132	12,12%
X7_3	109	100	9,00%	X27_3	155	144	7,64%	X47_3	137	125	9,60%
X7_4	122	112	8,93%	X27_4	118	108	9,26%	X47_4	150	132	13,64%
X7_5	146	131	11,45%	X27_5	122	111	9,91%	X47_5	141	127	11,02%
X7_6	139	124	12,10%	X27_6	165	145	13,79%	X47_6	153	137	11,68%
X7_7	128	118	8,47%	X27_7	137	125	9,60%	X47_7	128	118	8,47%
X7_8	108	97	11,34%	X27_8	156	140	11,43%	X47_8	155	133	16,54%
X7_9	99	89	11,24%	X27_9	142	128	10,94%	X47_9	155	144	7,64%
X7_10	130	118	10,17%	X27_10	128	115	11,30%	X47_10	147	132	11,36%
X8_1	98	95	3,16%	X28_1	116	108	7,41%	X48_1	106	100	6,00%

X8_2	109	103	5,83%	X28_2	116	110	5,45%	X48_2	121	113	7,08%
X8_3	103	95	8,42%	X28_3	101	101	0,00%	X48_3	122	112	8,93%
X8_4	104	94	10,64%	X28_4	122	112	8,93%	X48_4	139	127	9,45%
X8_5	112	104	7,69%	X28_5	102	102	0,00%	X48_5	118	110	7,27%
X8_6	92	85	8,24%	X28_6	108	103	4,85%	X48_6	115	105	9,52%
X8_7	94	87	8,05%	X28_7	119	109	9,17%	X48_7	115	107	7,48%
X8_8	93	87	6,90%	X28_8	107	99	8,08%	X48_8	124	116	6,90%
X8_9	102	94	8,51%	X28_9	106	98	8,16%	X48_9	122	113	7,96%
X8_10	99	93	6,45%	X28_10	126	116	8,62%	X48_10	120	111	8,11%
X9_1	88	88	0,00%	X29_1	104	104	0,00%	X49_1	96	96	0,00%
X9_2	94	94	0,00%	X29_2	91	91	0,00%	X49_2	115	109	5,50%
X9_3	87	87	0,00%	X29_3	103	98	5,10%	X49_3	101	96	5,21%
X9_4	92	87	5,75%	X29_4	83	80	3,75%	X49_4	101	96	5,21%
X9_5	114	114	0,00%	X29_5	103	102	0,98%	X49_5	92	89	3,37%
X9_6	102	98	4,08%	X29_6	97	91	6,59%	X49_6	128	128	0,00%
X9_7	80	80	0,00%	X29_7	97	97	0,00%	X49_7	104	99	5,05%
X9_8	80	80	0,00%	X29_8	83	80	3,75%	X49_8	120	113	6,19%
X9_9	88	87	1,15%	X29_9	97	97	0,00%	X49_9	100	97	3,09%
X9_10	85	84	1,19%	X29_10	96	96	0,00%	X49_10	101	97	4,12%
X10_1	111	111	0,00%	X30_1	102	102	0,00%	X50_1	116	116	0,00%
X10_2	91	91	0,00%	X30_2	112	112	0,00%	X50_2	118	112	5,36%
X10_3	99	99	0,00%	X30_3	108	108	0,00%	X50_3	111	111	0,00%
X10_4	95	95	0,00%	X30_4	83	83	0,00%	X50_4	104	100	4,00%
X10_5	97	97	0,00%	X30_5	88	83	6,02%	X50_5	101	100	1,00%
X10_6	92	92	0,00%	X30_6	79	79	0,00%	X50_6	102	102	0,00%
X10_7	79	79	0,00%	X30_7	95	93	2,15%	X50_7	137	137	0,00%
X10_8	114	114	0,00%	X30_8	79	79	0,00%	X50_8	112	112	0,00%
X10_9	77	77	0,00%	X30_9	93	93	0,00%	X50_9	101	101	0,00%
X10_10	66	66	0,00%	X30_10	86	86	0,00%	X50_10	105	103	1,94%
X11_1	195	173	12,72%	X31_1	225	198	13,64%	X51_1	235	206	14,08%
X11_2	178	158	12,66%	X31_2	222	193	15,03%	X51_2	255	221	15,38%
X11_3	229	203	12,81%	X31_3	193	174	10,92%	X51_3	250	220	13,64%
X11_4	226	196	15,31%	X31_4	253	219	15,53%	X51_4	240	212	13,21%
X11_5	241	211	14,22%	X31_5	226	200	13,00%	X51_5	270	230	17,39%
X11_6	237	212	11,79%	X31_6	213	192	10,94%	X51_6	250	215	16,28%
X11_7	188	163	15,34%	X31_7	231	206	12,14%	X51_7	241	212	13,68%
X11_8	180	162	11,11%	X31_8	220	192	14,58%	X51_8	231	206	12,14%
X11_9	190	173	9,83%	X31_9	218	189	15,34%	X51_9	239	211	13,27%
X11_10	205	181	13,26%	X31_10	259	227	14,10%	X51_10	265	227	16,74%
X12_1	155	138	12,32%	X32_1	161	147	9,52%	X52_1	201	176	14,20%
X12_2	129	117	10,26%	X32_2	147	131	12,21%	X52_2	205	183	12,02%

X12_3	148	136	8,82%	X32_3	160	145	10,34%	X52_3	151	134	12,69%
X12_4	139	125	11,20%	X32_4	148	136	8,82%	X52_4	191	170	12,35%
X12_5	182	162	12,35%	X32_5	154	138	11,59%	X52_5	185	168	10,12%
X12_6	135	121	11,57%	X32_6	138	128	7,81%	X52_6	221	196	12,76%
X12_7	131	120	9,17%	X32_7	135	122	10,66%	X52_7	165	149	10,74%
X12_8	133	119	11,76%	X32_8	151	135	11,85%	X52_8	178	158	12,66%
X12_9	116	105	10,48%	X32_9	139	127	9,45%	X52_9	165	150	10,00%
X12_10	154	143	7,69%	X32_10	146	131	11,45%	X52_10	164	144	13,89%
X13_1	139	127	9,45%	X33_1	117	107	9,35%	X53_1	158	144	9,72%
X13_2	94	89	5,62%	X33_2	123	113	8,85%	X53_2	122	115	6,09%
X13_3	129	118	9,32%	X33_3	118	107	10,28%	X53_3	121	112	8,04%
X13_4	124	112	10,71%	X33_4	123	112	9,82%	X53_4	156	145	7,59%
X13_5	98	91	7,69%	X33_5	160	142	12,68%	X53_5	120	113	6,19%
X13_6	108	99	9,09%	X33_6	125	115	8,70%	X53_6	116	106	9,43%
X13_7	118	109	8,26%	X33_7	131	123	6,50%	X53_7	129	119	8,40%
X13_8	103	94	9,57%	X33_8	123	111	10,81%	X53_8	151	139	8,63%
X13_9	90	85	5,88%	X33_9	125	114	9,65%	X53_9	180	165	9,09%
X13_10	100	92	8,70%	X33_10	115	106	8,49%	X53_10	144	132	9,09%
X14_1	90	85	5,88%	X34_1	81	78	3,85%	X54_1	113	105	7,62%
X14_2	99	93	6,45%	X34_2	110	105	4,76%	X54_2	134	134	0,00%
X14_3	90	88	2,27%	X34_3	108	102	5,88%	X54_3	115	111	3,60%
X14_4	93	88	5,68%	X34_4	96	95	1,05%	X54_4	128	120	6,67%
X14_5	104	97	7,22%	X34_5	109	103	5,83%	X54_5	116	109	6,42%
X14_6	92	91	1,10%	X34_6	101	100	1,00%	X54_6	115	109	5,50%
X14_7	95	91	4,40%	X34_7	109	105	3,81%	X54_7	119	111	7,21%
X14_8	119	112	6,25%	X34_8	94	89	5,62%	X54_8	110	102	7,84%
X14_9	101	101	0,00%	X34_9	101	95	6,32%	X54_9	118	107	10,28%
X14_10	86	81	6,17%	X34_10	101	101	0,00%	X54_10	112	108	3,70%
X15_1	81	81	0,00%	X35_1	87	87	0,00%	X55_1	107	100	7,00%
X15_2	75	75	0,00%	X35_2	115	111	3,60%	X55_2	83	83	0,00%
X15_3	87	87	0,00%	X35_3	80	77	3,90%	X55_3	126	126	0,00%
X15_4	82	82	0,00%	X35_4	101	101	0,00%	X55_4	92	90	2,22%
X15_5	87	87	0,00%	X35_5	98	93	5,38%	X55_5	106	106	0,00%
X15_6	97	97	0,00%	X35_6	86	86	0,00%	X55_6	105	100	5,00%
X15_7	75	75	0,00%	X35_7	99	99	0,00%	X55_7	105	105	0,00%
X15_8	126	126	0,00%	X35_8	101	101	0,00%	X55_8	104	101	2,97%
X15_9	109	109	0,00%	X35_9	94	91	3,30%	X55_9	94	94	0,00%
X15_10	91	91	0,00%	X35_10	86	86	0,00%	X55_10	100	100	0,00%
X16_1	222	196	13,27%	X36_1	236	210	12,38%	X56_1	266	237	12,24%
X16_2	262	232	12,93%	X36_2	252	223	13,00%	X56_2	229	204	12,25%
X16_3	264	234	12,82%	X36_3	256	229	11,79%	X56_3	275	241	14,11%

X16_4	225	200	12,50%	X36_4	266	236	12,71%	X56_4	251	222	13,06%
X16_5	224	200	12,00%	X36_5	256	229	11,79%	X56_5	316	280	12,86%
X16_6	230	206	11,65%	X36_6	258	225	14,67%	X56_6	242	214	13,08%
X16_7	205	186	10,22%	X36_7	232	208	11,54%	X56_7	319	283	12,72%
X16_8	219	195	12,31%	X36_8	193	172	12,21%	X56_8	323	289	11,76%
X16_9	231	205	12,68%	X36_9	249	221	12,67%	X56_9	327	288	13,54%
X16_10	242	213	13,62%	X36_10	243	216	12,50%	X56_10	292	259	12,74%
X17_1	153	140	9,29%	X37_1	160	145	10,34%	X57_1	207	185	11,89%
X17_2	136	123	10,57%	X37_2	157	145	8,28%	X57_2	180	161	11,80%
X17_3	117	108	8,33%	X37_3	154	139	10,79%	X57_3	206	184	11,96%
X17_4	129	120	7,50%	X37_4	180	163	10,43%	X57_4	227	200	13,50%
X17_5	141	129	9,30%	X37_5	227	206	10,19%	X57_5	197	179	10,06%
X17_6	147	136	8,09%	X37_6	179	163	9,82%	X57_6	209	189	10,58%
X17_7	159	146	8,90%	X37_7	180	161	11,80%	X57_7	181	166	9,04%
X17_8	136	127	7,09%	X37_8	197	178	10,67%	X57_8	178	162	9,88%
X17_9	149	134	11,19%	X37_9	158	142	11,27%	X57_9	184	167	10,18%
X17_10	148	134	10,45%	X37_10	144	132	9,09%	X57_10	184	167	10,18%
X18_1	148	138	7,25%	X38_1	116	108	7,41%	X58_1	153	141	8,51%
X18_2	122	116	5,17%	X38_2	136	124	9,68%	X58_2	135	126	7,14%
X18_3	106	101	4,95%	X38_3	165	155	6,45%	X58_3	130	120	8,33%
X18_4	107	101	5,94%	X38_4	151	140	7,86%	X58_4	157	145	8,28%
X18_5	126	118	6,78%	X38_5	121	114	6,14%	X58_5	129	120	7,50%
X18_6	145	134	8,21%	X38_6	132	122	8,20%	X58_6	152	140	8,57%
X18_7	127	118	7,63%	X38_7	110	105	4,76%	X58_7	158	147	7,48%
X18_8	114	106	7,55%	X38_8	136	125	8,80%	X58_8	145	132	9,85%
X18_9	98	91	7,69%	X38_9	144	134	7,46%	X58_9	141	130	8,46%
X18_10	104	98	6,12%	X38_10	150	140	7,14%	X58_10	147	131	12,21%
X19_1	88	88	0,00%	X39_1	100	95	5,26%	X59_1	118	114	3,51%
X19_2	88	83	6,02%	X39_2	117	108	8,33%	X59_2	112	106	5,66%
X19_3	89	85	4,71%	X39_3	118	111	6,31%	X59_3	112	108	3,70%
X19_4	115	106	8,49%	X39_4	104	98	6,12%	X59_4	117	108	8,33%
X19_5	112	103	8,74%	X39_5	106	106	0,00%	X59_5	111	106	4,72%
X19_6	94	90	4,44%	X39_6	95	95	0,00%	X59_6	123	115	6,96%
X19_7	93	93	0,00%	X39_7	111	104	6,73%	X59_7	121	112	8,04%
X19_8	97	93	4,30%	X39_8	105	96	9,38%	X59_8	119	110	8,18%
X19_9	92	89	3,37%	X39_9	99	92	7,61%	X59_9	125	119	5,04%
X19_10	88	88	0,00%	X39_10	116	110	5,45%	X59_10	141	132	6,82%
X20_1	91	89	2,25%	X40_1	84	81	3,70%	X60_1	101	101	0,00%
X20_2	99	99	0,00%	X40_2	92	90	2,22%	X60_2	86	83	3,61%
X20_3	81	77	5,19%	X40_3	88	87	1,15%	X60_3	93	89	4,49%
X20_4	89	89	0,00%	X40_4	112	112	0,00%	X60_4	109	103	5,83%

X20_5	69	69	0,00%	X40_5	101	101	0,00%	X60_5	110	105	4,76%
X20_6	80	80	0,00%	X40_6	90	90	0,00%	X60_6	111	110	0,91%
X20_7	81	81	0,00%	X40_7	91	91	0,00%	X60_7	100	95	5,26%
X20_8	111	107	3,74%	X40_8	97	97	0,00%	X60_8	104	101	2,97%
X20_9	80	80	0,00%	X40_9	117	117	0,00%	X60_9	101	101	0,00%
X20_10	81	81	0,00%	X40_10	96	96	0,00%	X60_10	93	89	4,49%